

ACADEMIE DE PARIS

T H E S E

PRESENTEE

A L'UNIVERSITE DE PARIS VI

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ES-SCIENCES PHYSIQUES

par

Jean RAULO

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA MIGRATION DE MATERIAUX
SUSCEPTIBLES D'OBTURER DES CAVITES ENDODONTIQUES

Soutenue le 24 juin 1971, devant la Commission d'Examen

MM. DERVICHIAN

Président

CHEMLA
BONNEMAY

Examineurs

DEBIESSE

Invité

ACADEMIE DE PARIS

T H E S E

PRESENTEE

A L'UNIVERSITE DE PARIS VI

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ES-SCIENCES PHYSIQUES

par

Jean RAULO

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA MIGRATION DE MATERIAUX
SUSCEPTIBLES D'OBTURER DES CAVITES ENDODONTIQUES

Soutenue le 24 juin 1971, devant la Commission d'Examen

MM. DERVICHIAN

Président

CHEMLA
BONNEMAY

Examineurs

DEBIESSE

Invité



Ce travail a été effectué au C.E.A. de SACLAY,
Département des Radio-éléments.

P L A N

Introduction

Première Partie : Etude de l'Anatomique Endodontique.

Chapitre 1 : Les méthodes d'étude de l'anatomie.

Chapitre 2 : Recherches sur les diamètres.

Deuxième Partie : Etude de la migration Electrochimique.

Chapitre 1 : Les conditions et les méthodes.

Chapitre 2 : Les choix des matériaux et leur comportement.

Troisième Partie : Résultats et Conclusions.

Chapitre 1 : Résultats avec les résines.

Chapitre 2 : Résultats avec la silice.

Chapitre 3 : Le contrôle par radio-isotopes.

Chapitre 4 : Le contrôle par la conductibilité.

Chapitre 5 : Conclusions.

INFORMATION

Ce travail a été effectué au C.E.A. de SACLAY,
Département des Radio-éléments.

Je tiens à remercier Monsieur DEBIESSE
Directeur du Centre d'Etudes Nucléaires de SACLAY et
Monsieur FISHER Chef du Département des Radio-éléments,
pour les facilités de travail qu'ils m'ont accordées.

J'exprime ma reconnaissance à Monsieur le
Professeur DERVICHIAN pour la compréhension qu'il a
manifestée à mon égard en acceptant de diriger cette
thèse et de présider le Jury.

Il m'est particulièrement agréable de remercier
le Professeur BONNEMAY et le Professeur ROYON pour l'aide
précieuse qu'ils m'ont apportée dans l'étude électrochi-
mique des matériaux.

Je remercie également le Professeur CHEMLA pour
l'accueil qu'il m'a réservé et l'orientation qu'il m'a
donnée.

I N T R O D U C T I O N

Si comme l'écrivait Normann Robert CAMPBELL "nous croyons que le progrès dans la science n'est pas impossible, ayons foi en notre credo et attribuons au génie de notre temps une autorité ni moindre ni plus grande que celle de notre puissance intellectuelle."

Cette citation est encore plus valable à notre époque où la diversité des découvertes est en progression constante. Nous pouvions espérer une solution à nos préoccupations.

Enseignant depuis de nombreuses années l'action des agents physiques et notamment l'ionophorèse dans la thérapeutique endodontique, nous savions que, par cette méthode, la pénétration médicamenteuse dans les canaux radiculaires permet une stérilisation des canaux accessibles. Celle-ci doit cependant être suivie d'une obturation pour espérer un résultat positif.

Lors d'une visite du service de physiothérapie à l'Ecole Dentaire, effectuée il y a quelques années par le Professeur BONNEMAY, nous lui avons exposé le problème qui nous préoccupait : "Le remplissage des canaux par voie électrolytique", étant donné les impossibilités que présentent le plus souvent les méthodes classiques d'obturation.

Ce problème semblait difficile à résoudre à cette époque. Il fallut attendre la découverte de nouveaux matériaux, utilisés dans l'industrie, pour qu'avec l'aide d'un de ses collaborateurs, M. ROYON, nous orientations à nouveau

nos recherches vers des solutions possibles ; ce sera l'objet de ce travail.

Aussi avons nous envisagé le déroulement de cette étude de la façon suivante :

Dans une première partie, nous avons montré aussi bien pour les travaux antérieurs que par nos travaux personnels combien l'anarchie anatomique de l'endodonte constituait jusqu'à présent un obstacle aux méthodes d'obturation classiques. Cette étude, complétée par une recherche sur les diamètres les plus faibles était indispensable pour la suite de nos expériences.

Dans une deuxième partie, après avoir décrit les conditions dans lesquelles pouvaient s'effectuer en thérapeutique endodontique la migration électrochimique envisagée et les méthodes pour y arriver, nous avons recherché parmi un certain nombre de matériaux ceux dont le comportement était compatible avec les impératifs biologiques.

Enfin, en troisième partie, les résultats obtenus avec les matériaux envisagés ont été présentés et des expériences "in vitro" ont été faites, pouvant laisser espérer d'excellents résultats cliniques.

P R E M I E R E P A R T I E

ETUDE DE L'ANATOMIE ENDODONTIQUE

CHAPITRE 1 : LES METHODES D'ETUDE

I - 1 Historique

I - 2 Etude Anatomique après sections successives

I - 3 Essai de matérialisation des canaux secondaires

I - 3 - 1 Méthode radiographique

I - 3 - 2 Méthode par diaphanisation

I - 3 - 2 - 1 Technique Aprile

I - 3 - 2 - 2 Méthode de Cambon

I - 3 - 3 Méthode personnelle

I - 3 - 3 - 1 par radioélément

I - 3 - 3 - 2 par résine colorée

I - 4 Conclusion

CHAPITRE 2 : RECHERCHES SUR LES DIAMETRES

2 - 1 Etudes au microscope électronique

CHAPITRE 1 : LES METHODES D'ETUDE

I - 1 HISTORIQUE

En 1844, CARABELLI donne les premières représentations de cette anatomie.

En 1891, MUHLREITER, publie quelques monographies d'anatomies de dents humaines.

En 1911, PREISWERCK, représente l'extrême diversité des ramifications radiculaires.

En 1908, GUIDO FISCHER, est le premier à essayer d'obtenir un moulage de la cavité pulpo-radiculaire. Il remplit de celluloïd des canaux soigneusement débarrassés de leur contenu ; puis, il procède à une dissolution de la dent dans l'acide chlorhydrique ; ce qui lui permet d'obtenir une représentation de ces canaux.

En 1917, HESS publie dans sa thèse une étude sur l'anatomie des canaux radiculaires de dents permanentes humaines. Nous reviendrons sur ces travaux.

Méthode du Docteur Pierre BERNARD :

En 1946, BERNARD a le mérite, en utilisant l'électrophorèse "in vitro" de l'ion OH^- , d'introduire la notion de "delta apical". Il conclut en disant :

"Ce qui est normal dans la région apicale, c'est l'irrégularité, l'inconstance et la multiplicité des canaux".

Il réalise cette étude morphologique des sorties des canaux de la région apicale de la façon suivante :

La racine d'une dent en expérience est placée dans un gel transparent contenant du chlorure de sodium à raison de 0,7 g de chlorure de sodium pour 100 g d'eau chaude ; on y ajoute 5 gouttes d'une solution alcoolique saturée de phtaléine du phénol. L'électrode négative est introduite dans le canal, préalablement débarrassé de ses matières organiques, et la cathode placée dans le fond du gel. Avec quelques 6 à 8 décicoulombs, on voit apparaître à chaque foramen un glomérule rouge dont la grosseur traduit la dimension transversale du canal qui débouche à ce foramen (page 5).

Voici la conclusion de ces expériences :

- La fréquence des canaux aberrants est beaucoup plus grande qu'on ne l'admet et bien peu de dents de personnes âgées sont exemptes de ces canaux.

- Le nombre de foramina est parfois considérable (jusqu'à 10 par dent).

- La polyfurcation apicale des canaux n'est pas le fait de malformation radiculaire : on la trouve dans des racines parfaitement bien conformées, rectilignes et même très étroites.

- La situation de ces foramina est extraordinairement variée ainsi que le montre la planche suivante.

Nous observons :

- dent N° 1 : Le cas le plus simple est représenté par deux orifices égaux correspondants à une bifurcation apicale.

- dent N° 2 : Certains foramina sont répartis de façon uniforme autour d'un foramen principal et répondent à une polyfurcation terminale.

- dent N° 3 : Certains foramina sont situés à mi-distance du cervex et de l'apex.

- dent N° 4 : Certains canaux secondaires débouchent au niveau d'une convexité.

- dent N° 5 : D'autres canaux débouchent au niveau d'une concavité et ce cas semble plus fréquent.

- dent N° 6 : Racines coudées très étroites, présentant 2 foramina apicaux et deux situés à mi-distance du cervex et de l'apex.

- dent N° 7 : Cas de foramen inter-radiculaire (il ne s'agit pas d'une perforation du plancher caméral).

- dent N° 8 : Cas de polyfurcation intéressant un seul canal d'une biradiculaire (7 foramina pour une seule racine).

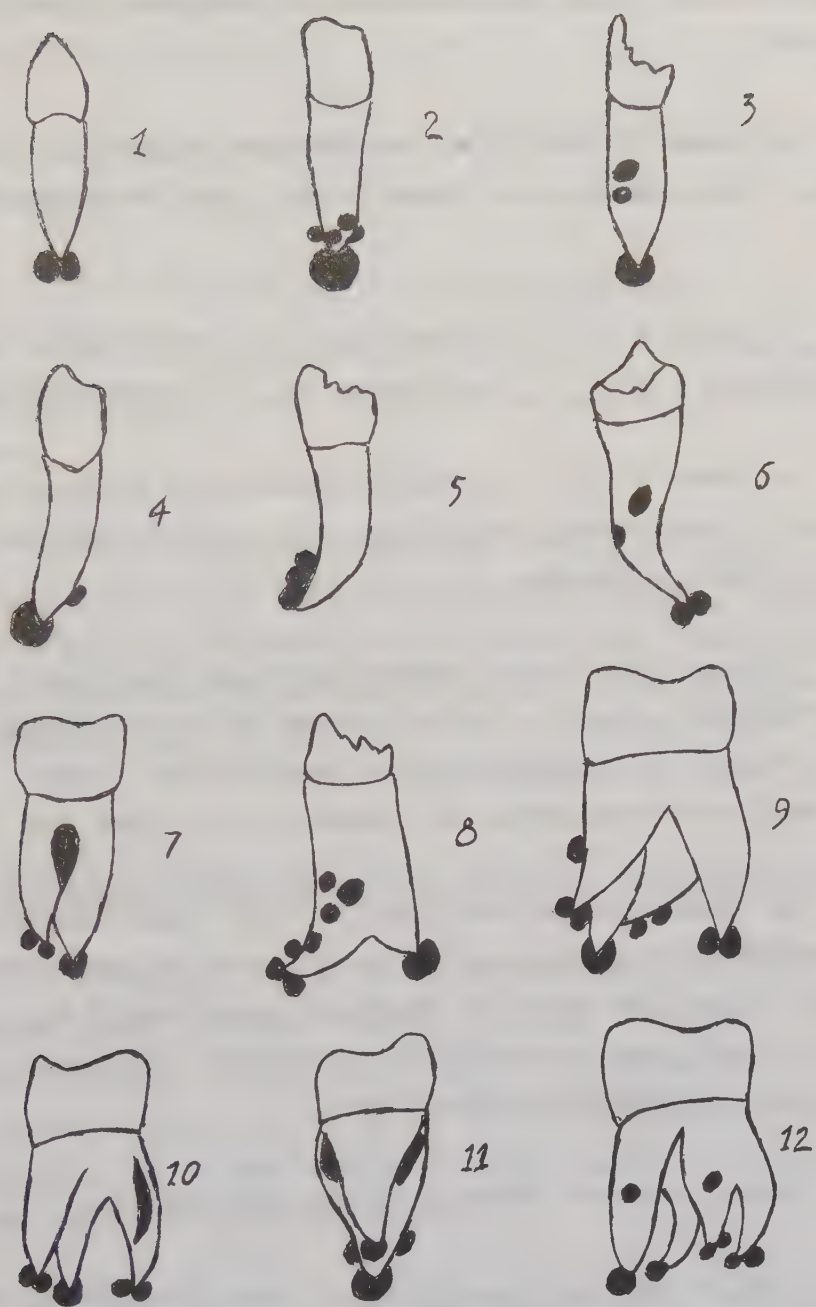


Fig. 1 - EXPERIENCE de P.D. BERNARD

Détection spectaculaire de nombreux foramina,
par l'électrophorèse in vitro de l'Ion OH^- .

- dent N° 9 : Cas de canaux secondaires à l'intérieur d'une mince lame dentinaire interradiculaire (au total 8 foramina).

- dent N° 10 : Cas de fêlure d'une racine palatine décelée par ionophorèse en même temps que les foramina apicaux.

- dent N° 11 : Biradiculaire inférieure présentant un foramen distal : 3 mésiaux et 3 interradiculaires.

- dent N° 12 : Quadriradiculaire présentant 10 foramina, 8 seulement visibles sur la face présentée et 2 sur la face opposée.

De ces résultats expérimentaux découlent la notion de "delta apical", c'est-à-dire de l'existence au niveau de l'apex de ramifications canalaire avec méandres toujours complexes et jusqu'alors très mal connus.

La conclusion pratique de ces expériences est que l'ionophorèse représente le seul procédé qui permet de découvrir tous les canaux aberrants ou ramifiés, parce qu'il est le seul qui permet d'y pénétrer, et aussi le seul qui permet une action thérapeutique.

Cette action thérapeutique est double :

- Elle est antiseptique, c'est-à-dire qu'elle détruit tous les micro-organismes grâce à la soude néoformée.

- Elle est anti-infectieuse, c'est-à-dire qu'elle détruit toute matière organique mortifiée en état de putréfaction qui représente le milieu de culture microbienne.

Avec l'ionophorèse, est donc résolu le double problème suivant :

1°) L'accès dans l'inaccessible.

2°) La destruction des matières organiques de l'infection jusqu'alors mises en conserve par les antiseptiques.

Mais l'ionophorèse ne résout pas pour autant le problème posé par l'obturation des zones inaccessibles qui est toujours impossible. L'obturation des canaux et des zones inaccessibles est en effet la condition de succès définitif.

I - 2 ETUDE ANATOMIQUE APRES SECTIONS SUCCESSIVES

HERMANN, dans de très belles planches (page 9), montre que dans un même plan, l'image d'un canal simple est exceptionnelle. WALKHOFF et W. HESS ont trouvé de tels deltas apicaux dans 25 % des incisives et canines supérieures, 30 % des canines inférieures, 50 % des prémolaires et 73 % des molaires.

Si l'on utilise des instruments mécaniques pour déboucher artificiellement et largement le canal (page 10), on créera vraisemblablement souvent un faux canal à la partie terminale de la dent, alors que le vrai canal est latéralisé ou divisé en deux.

I - 3 ESSAI DE MATERIALISATION DES CANAUX SECONDAIRES

Reprenant la technique de G. FISCHER, W. HESS après avoir vidé le contenu des canaux par action de la soude, les remplit sous pression avec du caoutchouc non vulcanisé.

Après vulcanisation, puis dissolution de la dent dans l'acide chlorhydrique, il obtient des moulages très nets.

Dans son livre, MARMASSE, tire des travaux de W. HESS, les conclusions suivantes :

- Les canaux ont généralement la même forme que l'extérieur de la racine, mais peuvent être plus ou moins différenciés par :

- . des cloisons dentinaires à l'intérieur des canaux,
- . des ramifications délicates dans la région apicale,
- . des "canaux médullaires" qui, à différents niveaux de la racine, font communiquer le canal radiculaire et le périodonte.

- Ces différenciations se produisent dans des dents dont l'apparence externe est parfaitement normale. Elles sont purement anatomiques.

- La forme et le nombre des canaux sont largement déterminés par les cloisons dentinaires. Celles-ci sont le résultat de la croissance physiologique de la dentine et

Deltas apicaux d'après B. W. HERMANN

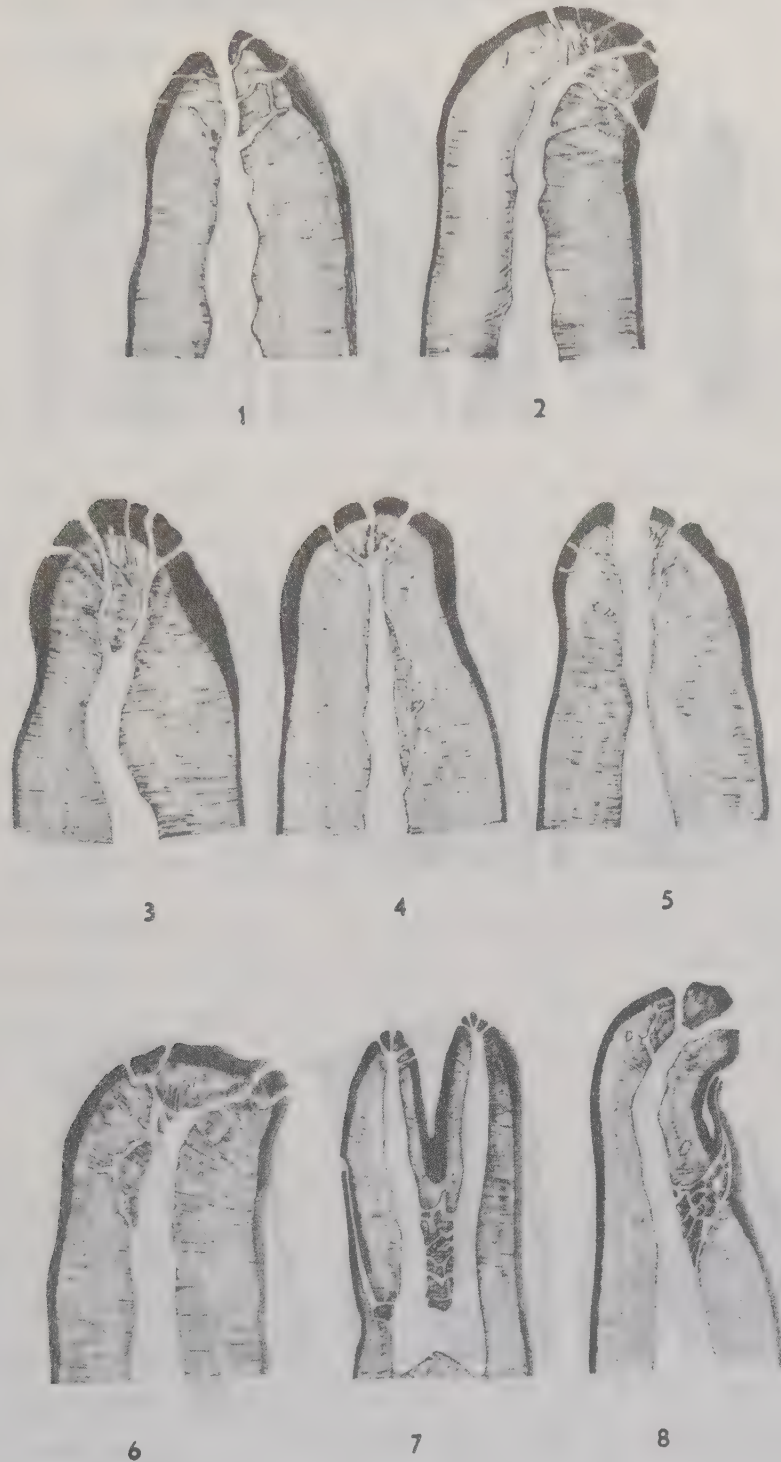


fig. 2

De tels deltas apicaux ont été trouvés par WALKHOFF et W. HESS dans 25 % des incisives et canines supérieures, 30 % des canines inférieures, 50 % des prémolaires et 73 % des molaires.

Deltas apicaux d'après B.-W. HERMANN

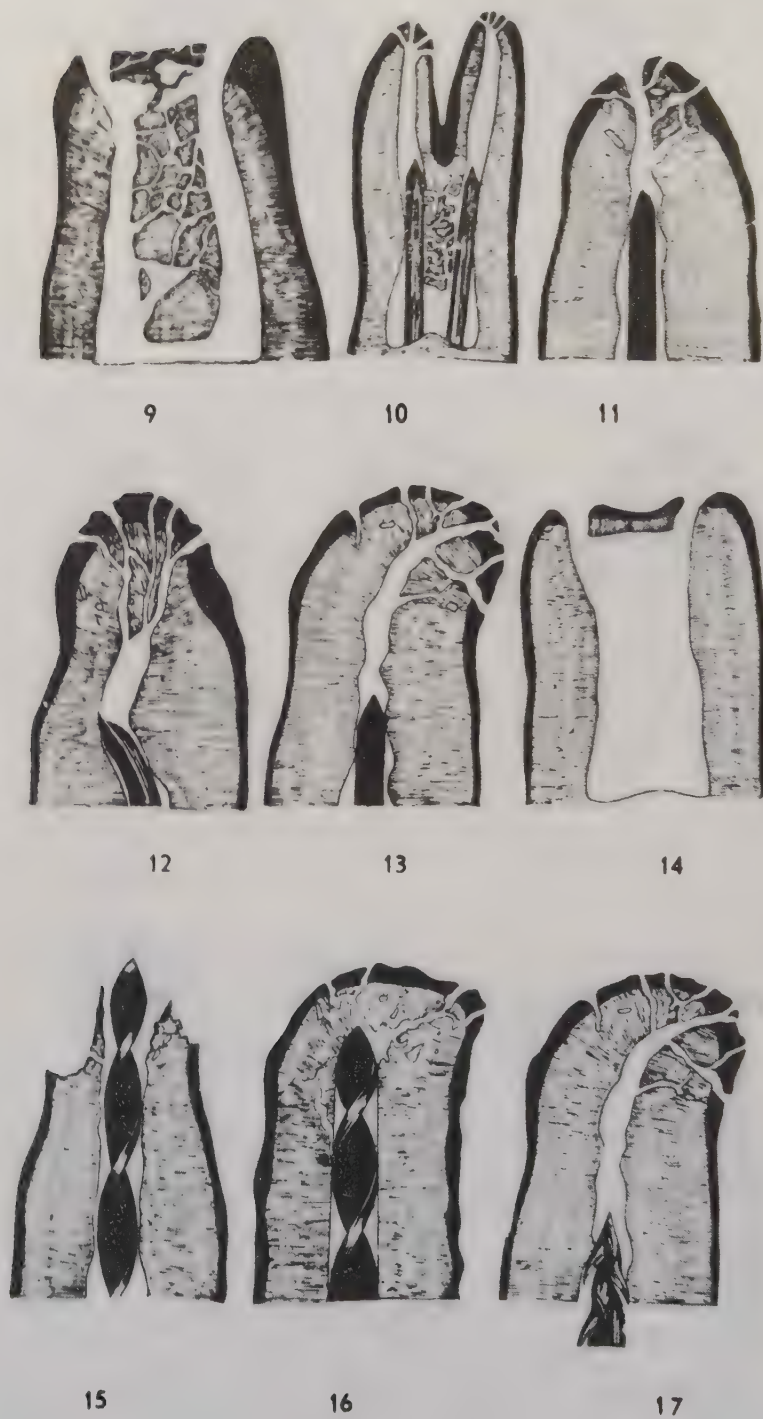


fig. 3

Le franchissement de tels deltas par effraction apicale donne un faux canal rectiligne et à la radio un mirage de netteté dans un colaque.

leur apparition est secondaire à la formation de la surface radiculaire externe.

Quant la dent est jeune, chaque racine contient un large canal unique ; les cloisons pratiquent des divisions caractérisées par la multiplication des canaux avec l'âge et la formation des connexions de pont de tissu pulpaire à différents niveaux, entre les filets radiculaires maintenant isolés.

Les racines, sujettes à ces modifications secondaires, sont toutes les racines aplaties : incisives et canines inférieures, racines mésio-vestibulaires des molaires supérieures, racines mésiales des molaires inférieures, prémolaires supérieures.

- Les "canaux médullaires" se rencontrent dans tous les types de dents; ils établissent des liaisons soit entre des canaux différents, soit entre le canal principal et le périodonte. L'âge a une influence sur la forme et le nombre des canaux des différentes dents : dans la jeunesse, avant la formation apicale, il n'y a pas de divisions de canaux, car ces divisions sont produites après la fermeture apicale.

Dans la vieillesse, par des apports plus ou moins réguliers de dentine et de ciment, une réduction du calibre de certains canaux, allant jusqu'à l'oblitération complète, peut se produire. de 12 à 20 ans, on trouve seulement quelques ramifications ; de 20 à 40 ans, on en trouve de nombreuses ; après 40 ans, on en trouve moins. Il en est de même pour les canaux médullaires .

I - 3 - 1 Méthode radiographique :

VERMOT-GAUD a effectué des tirages agrandis sur papier de radiographie rétro-alvéolaires. D'après lui, le pourcentage de canaux aberrants évalué par examen radiographique sur dents de lait (molaires) est de 9,27 % (pourcentage établi sur 291 molaires).

CAMBON, au contraire, identifiant les canaux sur des radiographies intra-buccales, arrive à la conclusion suivante : "Rapidement, nous nous sommes rendus compte pour les dents pluri-radiculées, et, surtout au maxillaire supérieur, qu'il était impossible de se prononcer sur l'anatomie pulpaire." En effet, au niveau de ces dents, même sur des radios techniquement bonnes, la superposition des plans des différentes racines, empêche souvent de suivre l'anatomie exacte de la dent et le trajet du canal principal. On ne peut se prononcer objectivement quant à l'existence de canaux aberrants.

Par contre, au niveau des monoradiculées, l'appréciation est plus aisée. Sur l'ensemble des 400 radiographies, représentant environ 800 molaires et prémolaires, nous n'avons relevé que 8 cas présentant des canaux aberrants. Il s'agissait dans 6 cas, de canaux pulpo-paradontaux; et, dans 2 cas, de deltas apicaux. Les canaux aberrants n'étaient visibles que sur des deuxièmes prémolaires supérieures ou sur des prémolaires inférieures.

Le pourcentage radiographique de canaux aberrants semble être de 1 %, ce qui est sûrement en-dessous de la réalité. Nous dirons donc que la méthode est insuffisamment précise.

I - 3 - 2 Méthode par diaphanisation :

VERMOT-GAUD a mis en évidence des canaux pulpo-paradontaux par diaphanisation. Pour dépulper complètement les canaux des dents trépanées à examiner, il existe deux solutions :

1°) La soude à ébullition

2°) La solution d'éthylène-diamine à un volume pour quatre d'eau à ébullition pendant 1 h. 30. Ensuite, aspiration d'une solution de gélatine à 2 % additionnée de 2 gouttes d'encre de chine. La méthode est difficile; le remplissage n'est pas bien homogène. Aussi l'auteur tente-t-il le remplissage sous vide des canaux dépulpés, puis la macération dans l'encre de chine ; mais, la meilleure solution reste l'imprégnation avec l'encre de chine.

Les dents sont trépanées et l'encre imprègne en 3 jours la pulpe, les canaux et les canalicules. On décalcifie après dans une solution de formiate de sodium et d'acide formique. Après lavage, on peut déshydrater les dents. Pour les rendre transparentes, il suffit de les plonger dans un bain de styrène.

L'auteur confirme par cette méthode l'hétérogénéité des trajets canaux de dents temporaires, et, en particulier, celle des deltas apicaux. Il conclut que le canal aberrant est bien le vecteur de l'infection pulpaire en direction ligamentaire.

1 - 3 - 2 - 1 Technique d'APRILE :

Elle consiste à laver les dents pendant 24 heures dans l'eau et, après ouverture de la chambre pulpaire,

nettoyage des canaux, immersion de 8 heures dans une solution d'anti-formine, enfin, lavage 48 heures à l'eau et séchage.

Les dents sont ensuite plongées 8 heures dans l'acétone puis dans l'encre de chine à 60 %. Une solution de gélatine épaisse est ajoutée dans les 2 heures qui terminent le bain dans l'encre.

Séchage à l'air pendant 48 heures. Décalcification par l'acide nitrique à 6 % ; cette décalcification durant 4 semaines. Enfin, on fixe par un bain de 6 heures dans une solution de formol et pour rendre translucides les pièces, on les laisse pendant une semaine dans un bain de phénol à 90 %. On dispose ainsi de dents translucides avec des canaux teintés en noir.

I - 3 - 2 - 2 Méthode de CAMBON :

Etudiant les orifices canalaire matérialisés par la méthode du Dr BERNARD, il constata que cette méthode permet de ne repérer que les foramina correspondant à des canaux les plus volumineux.

La technique qu'il recommande fût, alors, la suivante :

1°) Faire séjourner la dent à étudier dans une solution d'éthylène-diamine à un volume pour quatre d'eau pendant 1 h. 30 à chaud ; puis, lavage à l'eau courante pendant 48 heures.

2°) Remplir les canaux, comme le pratiquait APRILE, avec une solution d'encre de chine et de gélatine.

3°) Décalcifier par un mélange d'acide formique et de formiate de sodium ; les dents sont alors rendues transparentes dans le styrène.

Sur 42 prémolaires supérieures étudiées, dans 31 cas, il a pu mettre en évidence des canaux aberrants. C'est donc une fréquence de 73 % environ.

La conclusion de ces travaux confirme que la radiographie paraît insuffisante pour révéler les anomalies canalaires.

Outre les difficultés techniques liées au faible contraste entre les parties dures de la dent et les zones pulpaires, il y a le fait que les radios doivent toujours être prises dans le sens mésiodistal. Or, on s'est aperçu, en étudiant les dents imprégnées, que la grande majorité des canaux aberrants était visible par l'examen des faces mésiales ou distales. L'imprégnation par l'encre de chine s'opère différemment selon les dents et prend parfois des formes complexes.

I - 3 - 3 Méthode personnelle

I - 3 - 3 - 1 Par radio-élément

Ayant la possibilité, au C.N.R.S. de SACLAY, d'utiliser des radio-éléments, nous avons voulu vérifier une méthode d'obturation qui consiste à utiliser les propriétés d'expansion que subit l'oxyde de calcium lors de sa transformation en hydroxyde. Cette expansion, d'après BERNARD, est de 280 % du volume initial ; elle est obtenue en moins de 3 heures.

Une telle pâte, dans les cavités endodontiques (dans des conditions convenables d'humidité) serait susceptible de permettre le remplissage intégral de l'endodonte. Nous avons donc procédé à cette manipulation, et, pour vérifier avec certitude le passage, nous avons, après section, pratiqué des "auto-radios".

Dans les conditions de nos expériences, nous n'avons pas pu obtenir de résultats probants en ce qui concerne l'expansion simple (auto-radios N° 1 et 2) (page 17). Par contre, en utilisant l'électrophorèse, nous avons pu voir le point de sortie du calcium⁴⁵. L'interruption de l'image s'explique par le fait que la section ne passait pas obligatoirement par le plan du canal, celui-ci n'étant pas rectiligne (page 18).

Par cette méthode, il est possible de contrôler l'existence de canaux secondaires, mais là encore, il ne s'agit que de résultats partiels correspondants à une section transversale.

I - 3 - 3 - 2 Méthode par résine colorée :

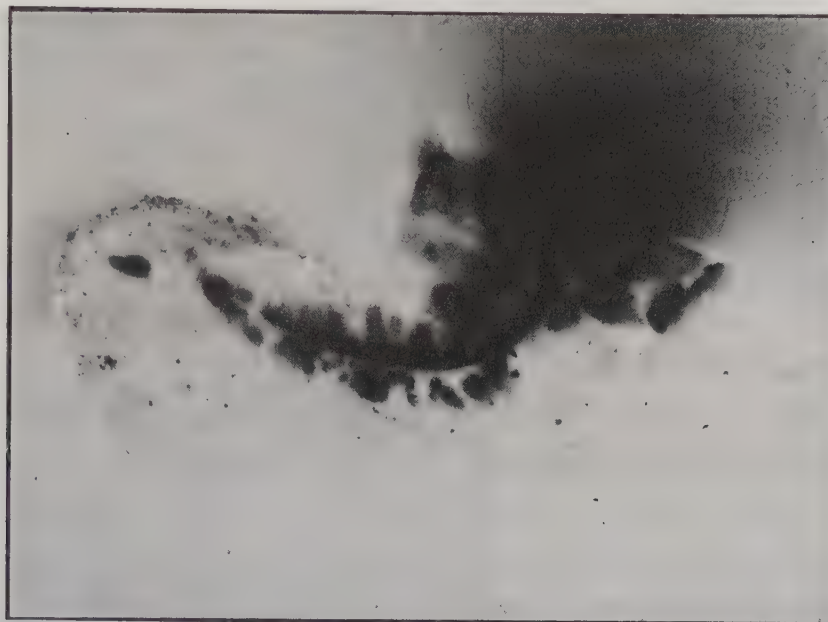
Migration de résine colorée et obtention d'une dent transparente suivant la technique de CAMBON: Nous avons fait migrer une résine électrophorétique colorée, en l'occurrence la résine Baycrlil W.460.

Mode opératoire : Pour commencer, nous avons procédé à l'électrolyse du contenu canaliculaire d'une dent pour obtenir la formation de soude. Cette première manipulation s'est faite suivant la technique du Dr BERNARD, en

ESSAI D'OBTURATION AVEC DU CALCIUM 45

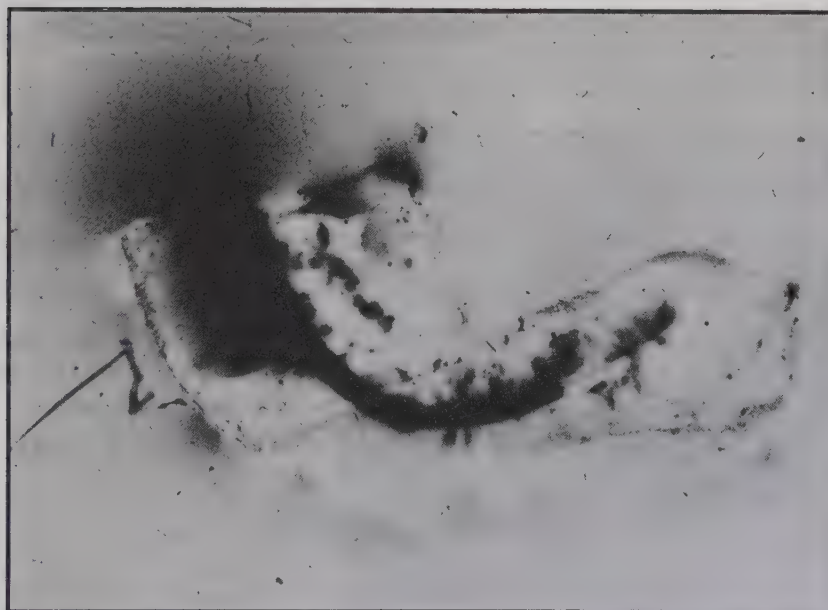
par la méthode de BERNARD basée sur l'augmentation de volume de l'oxyde de calcium lors de sa transformation en hydroxyde

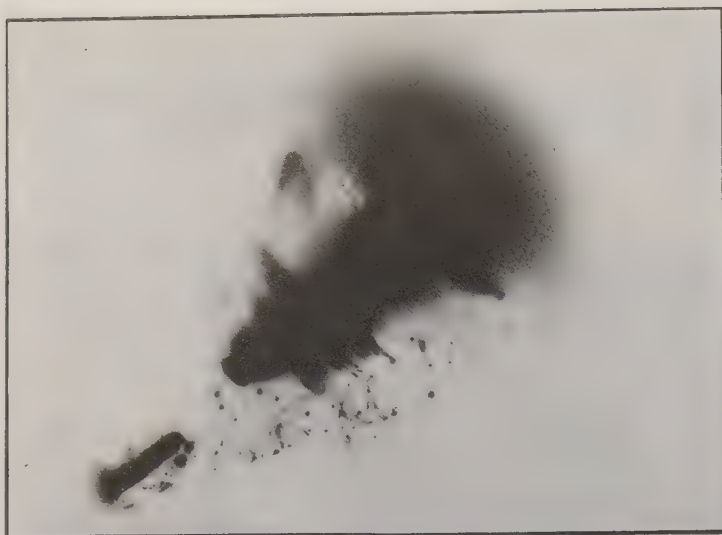
1



Auto-radios faites après section transversale d'une pré-molaire obturée - On voit que le calcium n'est pas sorti par l'extrémité de la racine.

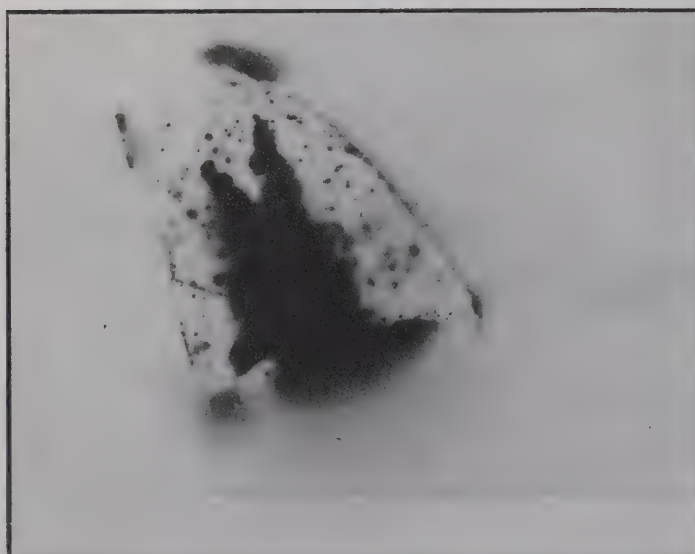
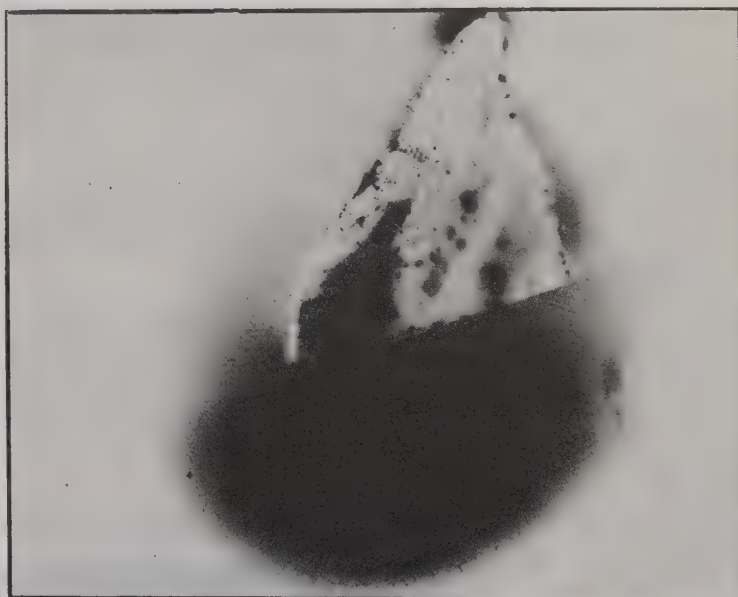
2





CALCIUM 45
ayant émigré par
voie électrolytique

Les taches noires sur
les auto-radios montrent
que contrairement aux
images de la page précé-
dente



le calcium 45 est sorti
par l'extrémité de la
racine saturée
(dans les 3 cas)

plaçant la racine dans un gel transparent contenant NaCl et la phtaléine du phénol, ceci afin de contrôler la sortie de la soude.

Cette méthode avait l'avantage de nous donner une approximation sur le nombre de canaux aberrants. D'autre part, elle facilitait le nettoyage ultérieur de la partie accessible du canal.

Après avoir débarrassé celle-ci des matières organiques, nous avons plongé la racine de cette dent dans une solution de sérum physiologique. Dans le fond du bain était introduite l'anode, la cathode étant au contact de la résine électro-négative. Après introduction d'une petite quantité de résine dans le canal, au moyen d'une seringue, nous avons laissé migrer celle-ci vers l'apex assez longtemps, de manière à obtenir un remplissage de l'endodonte le plus complet possible. Nous reviendrons dans un chapitre ultérieur sur les détails de manipulation.

La migration étant considérée comme terminée, nous avons procédé à la polymérisation de la résine, en plaçant la dent en expérience pendant 20 minutes dans une étuve à 60°. Après refroidissement, nous avons opéré des sections longitudinales.

Nous avons utilisé la même technique avec de nombreuses dents, et, nous avons pu constater, en examinant les agrandissements des coupes, la matérialisation des canaux secondaires par la résine qui y avait pénétré. Malheureusement, cette technique ne donne que des images situées dans un seul plan. (page 24 photo I)

Nous avons alors procédé à des migrations analogues, mais nous avons lysé la partie radiculaire de la racine grâce à l'acide chlorhydrique. Nous avons ainsi pu recueillir l'empreinte d'un canal. (page 21 photo II) — Méthode encore imparfaite, car la résine ne donne pas une image suffisamment précise de l'endodonte, celui-ci n'étant plus environné de sa dentine. (page 22 photo III)

La technique préférée fût alors la suivante :

Migration, polymérisation, puis technique de CAMBON pour rendre la dent transparente ; nous avons alors obtenu les images suivantes (page 22 photos I et II)

I - 4 CONCLUSION

Nous avons vu l'anarchie anatomique des canalicules.

Nous sommes en mesure d'obtenir une pénétration médicamenteuse antiseptique par voie électrolytique, mais la stérilisation ne suffit pas. Il faut parvenir à obturer complètement ces zones inaccessibles par d'autres méthodes que les moyens mécaniques. Nous ne saurions trop le répéter.

Des précurseurs ont tenté de décharger des métaux par électrolyse : ce fût l'échec, les canalicules présentant une résistance assez élevée; la durée et la tension d'électrolyse indispensable pour réaliser cette migration étaient incompatibles avec les limites physiologiques humaines. Par contre, l'utilisation de

OBTURATION A LA RESINE BAYCRIL W 460

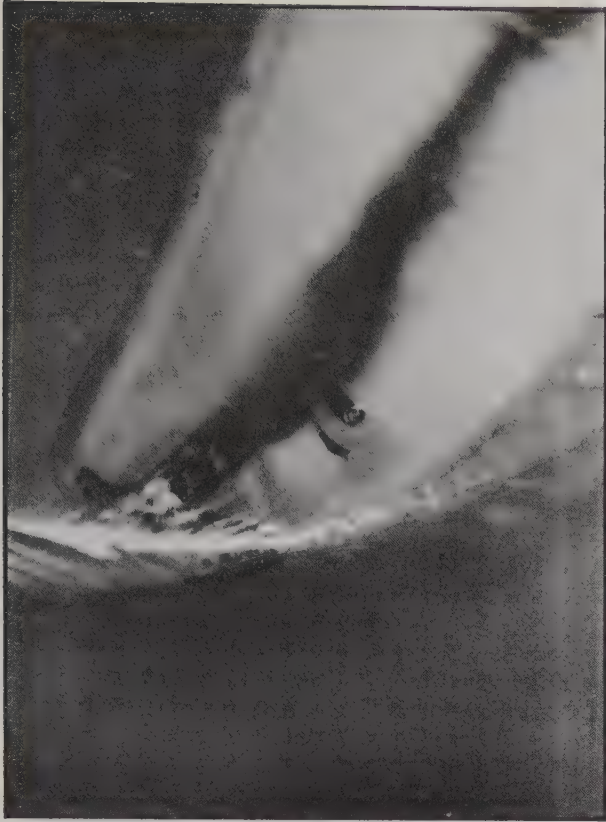


Photo n° 1

Empreinte d'un canal
obturé à la résine
(après lyse de la dent
avec HCl)



Photo n° 2

OBTURATION A LA RESINE
EMPREINTE D'UN CANAL APRES LYSE DE LA DENT (avec HCl)

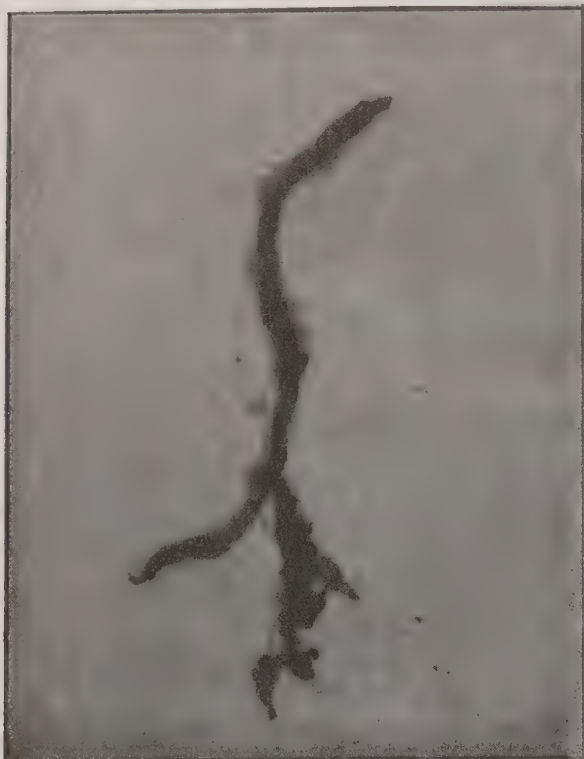


Photo 1 : G x 10

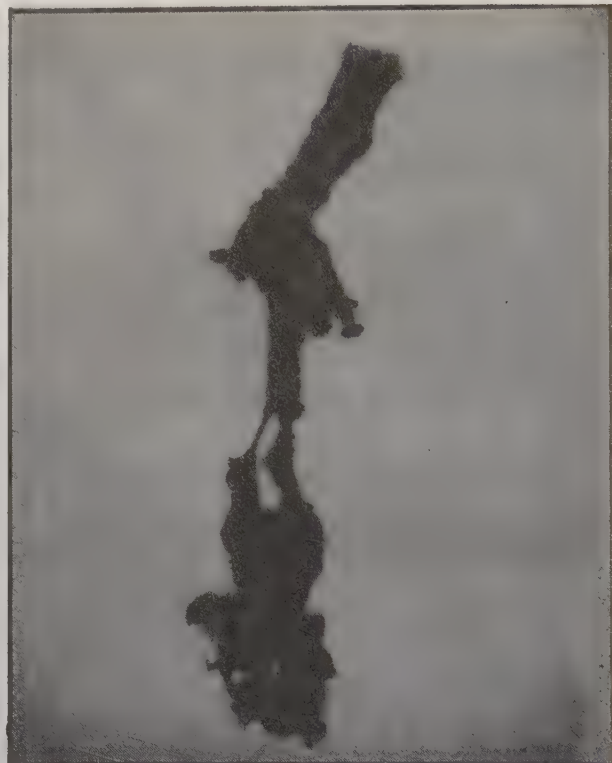


Photo 2 : G x 13

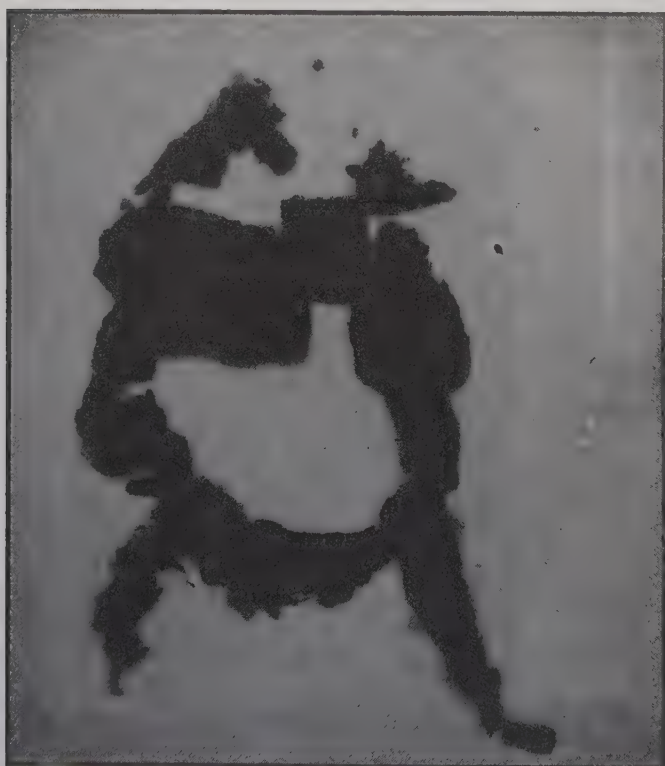


Photo 3 : Prémolaire
(dent d'enfant)

G x 13

l'électrophorèse appliquée aux solutions colloïdales modifiait le problème en raison du rapport élevé $\frac{\text{masse}}{\text{charge}}$ que l'on observe dans de tels dépôts.

Alors que ce rapport pour l'argent est égal à 108 g par FARADAY, il est pour certaines solutions colloïdales d'une valeur supérieure à 4.000 g. Le gain pour le volume obtenu par unité de charge est de l'ordre de 200.

Le Professeur BONNEMAY et son assistant M. ROYON auxquels nous avons demandé conseil, nous ont suggéré d'envisager l'emploi des résines électrophorétiques. Nous avons, après études variées, retenu la résine Baycrlil W 460 et une étude électro-chimique de ces matériaux fût confiée à Madame Rose CHOKOMIAN. De nombreux essais furent effectués aux Arts et Métiers. Les résultats de ces travaux figurent dans un mémoire auquel nous nous sommes référés.

Malheureusement, ces résines étant thermodurcissantes, nous pouvions difficilement les utiliser. Elles nous ont pourtant servi à matérialiser les canaux secondaires dans les expériences "in vitro".

Nous avons ensuite étudié les sols de silice et ce fût le LUDOX TM qui retint notre attention.

La première condition à l'utilisation de ces matériaux était de savoir s'ils étaient capables de migrer à l'intérieur des canaux secondaires. Une étude sur le diamètre de ces canalicules fût donc entreprise.

CHAPITRE 2 : RECHERCHE SUR LES DIAMETRES DES CANAUX ABERRANTS

II - 1 ETUDE AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE

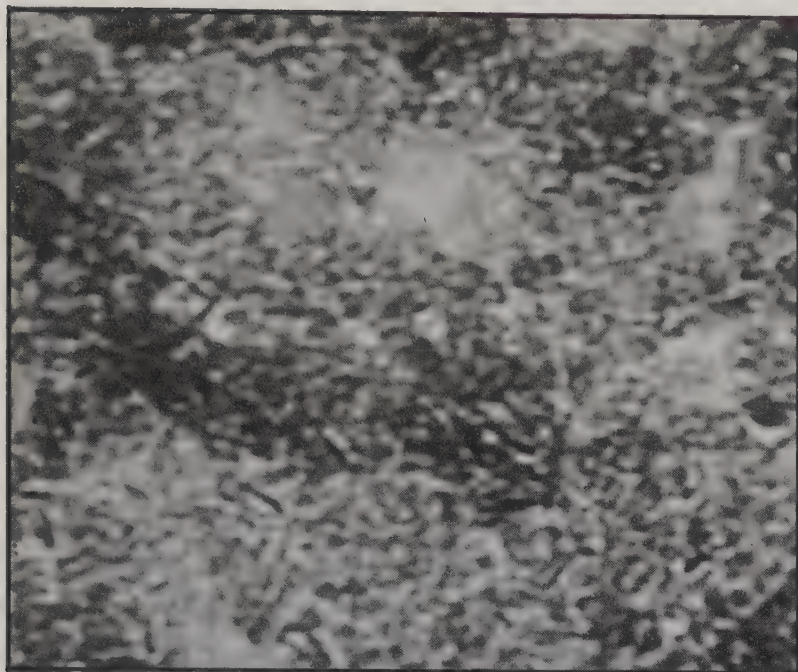
Nous avons pratiqué des sections dans les régions radiculaires où se trouve, en principe, le maximum de ces canaux secondaires. Ces sections furent faites horizontalement et transversalement, puis incluses dans des résines auto-polymérisables pour procéder à des polissages. Elles furent ensuite placées sous différents microscopes avec des grossissements variant de 6.150 à 400.000.

Les grossissements les plus faibles furent ceux qui donnèrent les meilleurs résultats, les diamètres des canalicules variant de dimensions avec leur situation, mais se trouvant situés aux environs de 1 micron pour les canaux les plus étroits.

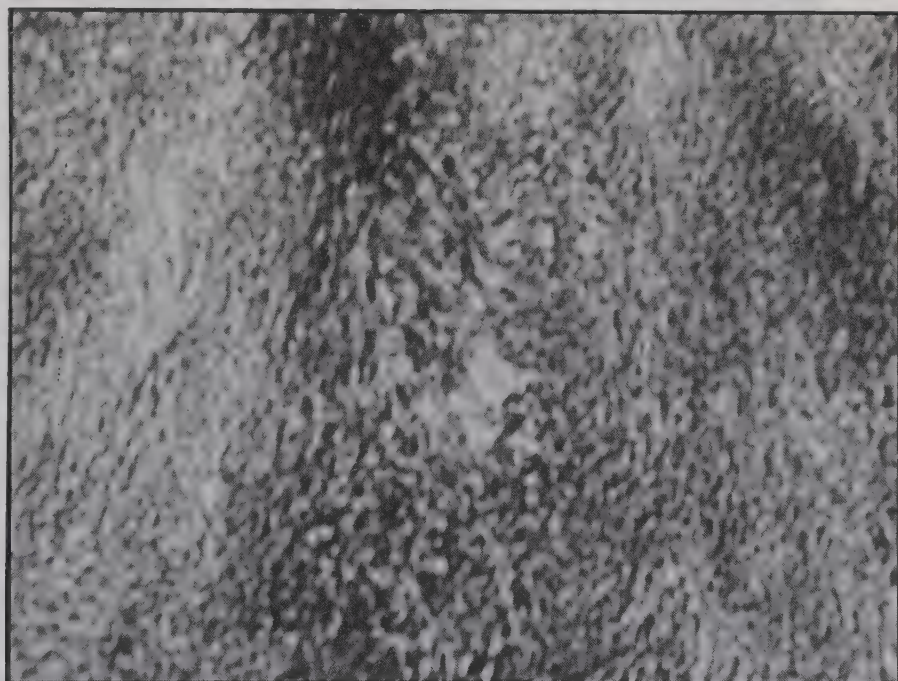
Si nous examinons, en effet, les photos faites avec des grossissements de 200.000 et en supposant que les canalicules de Tomes aient un diamètre situé entre 1 et 5 μ , il semble que nous ayons sur ces photos la représentation de ces mêmes canalicules, étant donné leur nombre et leur situation. (page 25).

Nous avons donc été amené à réaliser les études avec des grossissements inférieurs de l'ordre de 6.000 à 11.000. Nous nous trouvons en présence sur les trois photos suivantes d'images qui donnent un diamètre de l'ordre du μ pour les canalicules envisagées. (pages 26 et 27).

DIAMETRE DES CANALICULES DENTAIRES



G x 200 000



G x 200 000

DIAMETRE DES CANALICULES DENTAIRES

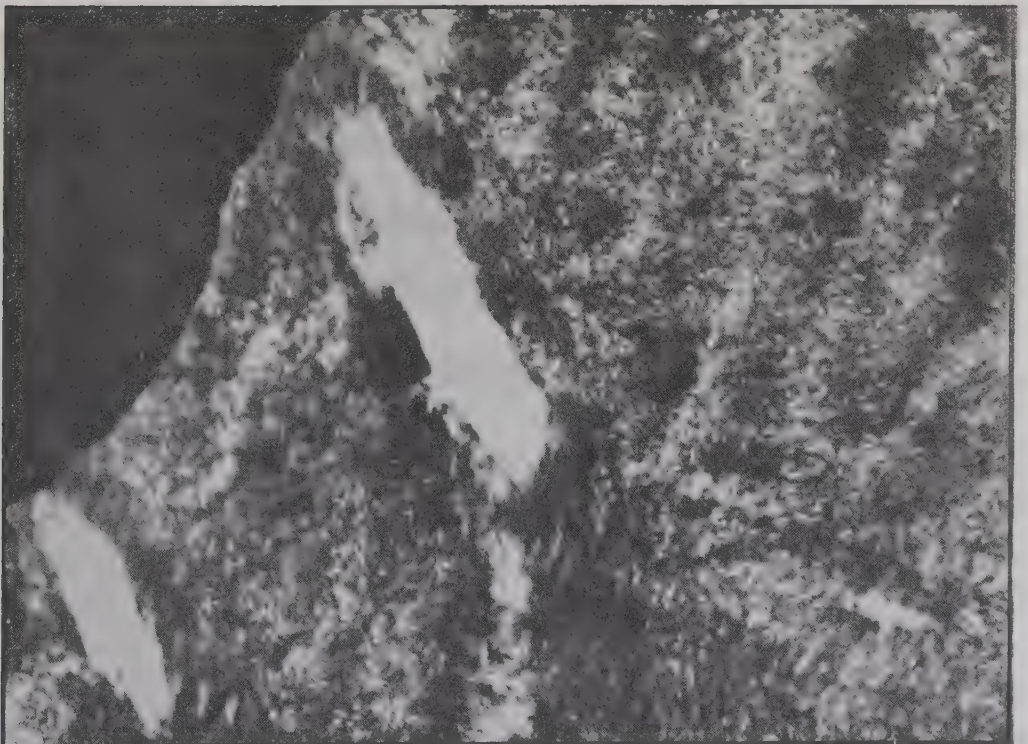


G = 6 150

DIAMETRE DES CANALICULES DENTAIRES



G = 11 100



G = 11 100

Cette représentation microscopique ne donne cependant qu'une approximation ; mais, il semble que nous pouvons retenir comme hypothèse de travail un diamètre minimum de 1μ .

II - 2 ETUDE AU MICROSCOPE "LEITZ" A LUMIERE BLANCHE

Des études faites sur de nombreuses coupes ont montré qu'il était beaucoup plus facile d'effectuer les mensurations du diamètre de canaux aberrants sur des coupes entières.

En effet, les images sont beaucoup plus nettes et il ressort de ces études ultérieures que nous avons pour les canaux les plus fins à traiter des canalicules secondaires dont le diamètre serait dans l'ensemble supérieur au micron.

Nous pouvons donc, compte tenu d'une marge de sécurité, utiliser des produits dont les granulations partent du micron. Ce fut le cas de la résine Baycrlil W 460 et du Ludox TM.

DEUXIEME PARTIE

CHAPITRE I : LES CONDITIONS ET LES METHODES

- I - 1 Rappel historique
- I - 2 Intérêt de la méthode
- I - 3 Principe de la méthode
- I - 4 Conditions
 - I - 4 - 1 Résistance ohmique de la dent
 - I - 4 - 2 Limite de tolérance au passage du courant
- I - 5 Les méthodes
 - I - 5 - 1 Appareillage
 - I - 5 - 2 Préparation de la dent
 - I - 5 - 3 Technique opératoire

CHAPITRE 2 : LE CHOIX DES MATERIAUX ET LEUR COMPORTEMENT

- II - 1 Généralités
- II - 2 Le choix des matériaux
 - II - 2 - 1 Les résines électrophorétiques
 - II - 2 - 2 Les solutions colloïdales de silice
- II - 3 Comportement des dispersions colloïdales de résine et de silice
 - II - 3 - 1 La conductibilité

II - 3 - 2 La mobilité

II - 3 - 2 - 1 Influence du PH de la dispersion
sur la mobilité des particules

: II - 3 - 2 - 1 - 1 Essai sur la résine Baycril
W 460

II - 3 - 2 - 1 - 2 Essai sur le Ludox TM

II - 3 - 2 - 2 Influence des électrolytes

II - 3 - 2 - 2 - 1 Essai sur la Baycril W 460

II - 3 - 2 - 2 - 2 Essai sur la silice

II - 3 - 3 Floculation

II - 3 - 4 Dépôt électrophorétique

II - 3 - 4 - 1 Influence de la densité courant

II - 3 - 4 - 2 Influence du PH

II - 3 - 4 - 3 Influence de la concentration

II - 3 - 4 - 4 Influence de la température

II - 3 - 4 - 5 Influence de l'agitation

II - 3 - 4 - 6 Influence des électrolytes

II - 3 - 4 - 7 Conclusion

II - 3 - 5 Comportement des dispersions colloïdales
de résine et de silice stérilisées par
rayonnements ionisants

CHAPITRE 1 : LES CONDITIONS ET LES METHODES

La migration électrochimique est à la base de la technique d'ionothérapie, c'est-à-dire du traitement par pénétration d'une substance médicamenteuse à l'intérieur du corps humain. Dans notre cas particulier, il s'agit de l'endodonte.

I - 1 RAPPEL HISTORIQUE SUR LES MIGRATIONS MEDICAMENTEUSES

Les premières utilisations de cette technique sont anciennes, puisqu'elles sont citées dans la littérature dès 1833. Mais c'est au début du siècle, et en particulier à la suite des travaux de BERNARD en 1929, que cette technique s'est généralisée (ionophorèse de l'ion I^{3-}).

Celle-ci, reprise par d'autres chercheurs, a été par la suite confirmée. En 1947, BERNARD, en décrivant la phorèse de l'ion OH^- , parfait la technique et en démontre l'intérêt pour la stérilisation des canaux dentaires.

I - 2 INTERET DE LA METHODE

Le risque des infections périapicales est indiscutable, mais l'infection n'est dangereuse que si elle dépasse les limites de l'endodonte.

Toute racine a originellement un foramen apical large. Avec l'âge, le diamètre du canal est réduit par une élaboration de dentine, oeuvre des odontoblastes. Celle-ci s'effectue de façon désordonnée suivant un déterminisme dont nous ne connaissons pas les éléments. Peut-être

l'activité des odontoblastes est-elle polarisée par le paquet vasculo-nerveux polyfurqué que respecte la croissance dentinaire.

Le résultat de l'étude des canaux secondaires démontre que seule l'ionophorèse permet une désinfection des canaux insondables et demeure la seule logique dans le cas de canaux mécaniquement inaccessibles.

Si, après la désinfection de l'endodonte, on procède à une obturation des canaux secondaires, ces canaux ainsi traités s'opposeront à la réinfection. On assistera dans le périapex à une guérison clinique qui sera suivie d'une guérison radiographique, et, par la suite, à une régénération osseuse périapicale. La cicatrisation se présentera comme un rétablissement vital des relations entre os et ciment, avec constitution d'un nouveau périodonte.

Etat de la dent avant le traitement :

Partant du principe que nous abordons dans cette étude les lésions endodontiques justiciables de méthodes de stérilisation par ionophorèse, nous nous trouvons en présence de dents dont le canal est privé de ses éléments de défense, la circulation sanguine y ayant disparue. Ce canal est rempli de débris alimentaires, de pulpe en décomposition, de fibres de Tomes sans vie, de salive. Ces albuminoïdes putrescibles, ces hydrates de carbone fermentescibles constituent le milieu de culture dans lequel se développent les colonies microbiennes les plus variées. On y trouve des staphylocoques blancs et dorés, des pneumocoques, et, différentes formes de streptocoques. Ces derniers anaérobies facultatifs sont les plus fréquents. On y trouve également des toxines élaborées par ces micro-organismes et des ferments protéolytiques.

Ce milieu alcalin ou acide agit sur le support albuminoïde. Des études chimiques du contenu ont été faites. Elles se résument dans les différents termes de désintégration de la molécule albuminoïde, dans la fermentation des hydrates de carbone, et, dans les interactions entre les acides de fermentation, l'eau, les graisses et l'ammoniaque. En résumé, on trouve des acides aminés qui libèrent du phénol en milieu acide et des amines, ptomaïnes très toxiques en milieu alcalin, dont les principales sont la putrescine et la cadavérine d'odeur très désagréable.

Le périapex peut donc recevoir des germes qui franchissent l'orifice apical, avec comme réaction de l'organisme vivant, la formation d'un granulome. Ce granulome contient des polynucléaires susceptibles de phagocyter les bactéries, des mononucléaires actifs contre les cellules mortes, des lymphocytes formateurs d'anticorps antitoxiques.

C'est le barrage établi par la nature contre une agression. Ce granulome est très souvent stérile, mais, dans les cas exceptionnels, la lutte est inégale, et on assiste à un réveil de l'infection par suite du passage de germes ou de toxines dans la circulation. C'est la "Focal Infection" décrite par les praticiens américains.

Il ne faut pas oublier, comme l'a dit HOUSSET, que le granulome n'est pas une lésion infectieuse, mais une organisation de défense contre l'infection venue d'ailleurs. Entretenu par l'infection du canal, il disparaît avec celle-ci, l'organisme se chargeant de la remise en ordre du périapex.

Donc le canal non obturé constitue, en cas d'infection, un réservoir inexpugnable de produits toxico-infectieux. D'autant plus que la dent étant obturée, ou l'étant incomplètement, et le canal ne l'étant pas, mais restant en communication avec l'organisme par l'orifice apical, on assiste sous l'influence des modifications de la température buccale à des variations de pression interne. Comme conséquence, la sortie des produits infectieux qu'il contient est inévitable. Des expériences "in vitro" ont été réalisées et ont mis en évidence ce phénomène. Concluons à la nécessité absolue d'obturer ces canaux secondaires.

Nous entreprendrons avant toute approche du contenu canaliculaire, une stérilisation par les ions OH^- suivant les méthodes d'ionophorèse maintenant classiques. Cette action antiseptique préalable, grâce à la soude néoformée est utilisée et décrite dans les manuels de thérapeutique. Elle rejoint celle qui est obtenue lorsque les praticiens utilisent le bioxyde de sodium qui dans sa combinaison avec l'eau contenue dans le canal donne :



Dans notre cas, nous retiendrons donc cette action favorable des bases avant toute tentative d'obturation par électrophorèse. Elles jouissent d'une faible tension superficielle et agissent sur les matières albuminoïdes en les déshydratant et en les solubilisant. Les albuminoïdes provenant des débris pulpaire sont rendus ainsi plus facilement éliminables et les micro-organismes en subissent une action analogue ; elles sont stérilisées ; les graisses sont saponifiées.

Principe de la méthode

La vitesse constante d'un ion exprimée en cm s^{-1} , lorsqu'il est soumis à un champ de 1 volt cm^{-1} est appelé "mobilité électrique". On la représente par les symboles u_+ dans le cas des cations, et u_- dans le cas des anions.

La vitesse de l'ion est fonction du champ électrique ; il est donc possible de faire migrer sous l'influence du courant électrique des quantités non négligeables de matière. C'est ce qui a été réalisé en ionothérapie dentaire où le but recherché est la pénétration par le courant électrique de produits antiseptiques à l'intérieur des canaux radiculaires.

La réussite de l'opération tient à deux impératifs : la dent doit être conductrice (par le canal central) et la matière à faire migrer doit être chargée. D'autre part le courant électrique doit être parfaitement toléré par l'organisme.

I - 4 CONDITIONS

I - 4 - 1 Résistance ohmique de la dent :

Si la dentine constitue un isolant relatif, les canalicules de Tomes étant très mauvais conducteurs, par contre le canal central et les canaux secondaires peuvent être assimilés à des conducteurs. Toutefois, la résistance ohmique de la dent est élevée (de l'ordre de 10^4 à 10^5 ohms), ceci s'explique par la résistance qu'opposent au passage du courant les canaux aberrants qui sont en fait des tubes capillaires à sections extrêmement fines (dans ce cas la résistance au lieu d'augmenter en fonction inverse de la section, augmente suivant une fonction croissante

certainement exponentielle de la section.)

I - 4 - 2 Limite de la tolérance au passage du courant :

C'est un des facteurs importants pour la suite de ce travail. Les limites de tolérance ont été observées sur des milliers de cas, elles se situent dans des intensités comprises entre 1 et 5 milliampères. Mais l'observation clinique nous a appris que la tolérance est directement proportionnelle aux lésions périapicales. Un gros foyer visible à la radiographie nécessite des intensités importantes de l'ordre de 3 à 5 milliampères pendant 3 à 4 minutes pour la stérilisation. Ces intensités sont très bien supportées, alors qu'une lésion peu importante, à peine visible à la radiographie, ne permettra de faire passer pas plus de 1 milliampère pour la stérilisation.



Le temps d'application du courant électrique se situe aux alentours de 3 à 4 minutes.

Lorsqu'il s'agit en effet d'une dent pluriradiculaire (3 canaux par exemple), il est difficile de maintenir plus de 12 minutes un être humain, bouche ouverte, dent isolée, dans un état de tension compréhensible. Nous devons tenir compte de cet impératif qui est le temps de passage du courant et, pour ce faire, essayer de réduire le chemin à parcourir par notre produit d'obturation.

En conclusion, les deux conditions à l'utilisation d'une méthode de remplissage par électrophorèse sont :

- L'intensité située entre 3 et 5 milliampères.
- La durée de la séance : entre 12 et 15 minutes.

Remarque :

Pour augmenter les tolérances, certains fabricants ont utilisé un courant sinusoïdal de basse fréquence, de tension voisine de 50 volts, superposé au courant galvanique qui réalise une modulation de crête et produit un effet analgésique par l'établissement de temps actif suivi de temps de repos. Enfin, d'autres auteurs ont utilisé des courants de haute fréquence redressés.

I - 5 LES METHODES

1 - 5 - 1 Appareillage :

On utilise un générateur de courant continu ou légèrement modulé constitué par :

- un transformateur d'alimentation,
- un dispositif de redressement par valve thermonique,
- un ensemble de filtrage par self et condensateur.

Le circuit comporte également :

- un potentiomètre pour le réglage du courant utilisé,
- un milliampèremètre gradué de 1 à 10 milliampères, branché en série dans le circuit constitué par le patient et indiquant l'intensité du courant employé.

Le temps d'application étant fonction de l'intensité supportée qui varie dans le temps, on a enfin utilisé des intégrateurs ou totaliseurs du nombre de décicoulombs débités.

I - 5 - 2 Préparation de la dent

- Parage de la cavité dentaire

C'est le nettoyage mécanique de la portion accessible du canal principal (élimination des débris organiques).

L'opérateur doit cependant respecter trois règles classiques :

- Il est inutile de chercher à sonder les canaux sur toute leur longueur. Si la chose est possible, après la première séance de désinfection, on essaiera cependant de descendre le plus loin possible, de manière à raccourcir

le chemin à parcourir par le matériau d'obturation que l'on veut faire migrer électrolytiquement.

- Pour la séance de désinfection, la portion accessible du canal devra être ramonée de façon sommaire, par exemple avec un tire-nerf, de manière à éviter le tassement des débris organiques qui pourraient constituer un obstacle à l'expulsion mécanique de la mousse électrolytique qui se forme vers la chambre pulpaire au cours de l'opération. Le refoulement dans le périapex du contenu infecté de la portion apicale du canal serait alors inévitable.

- Si l'on veut adjoindre au nettoyage mécanique une action chimique, on doit utiliser une solution de soude à 20 % ; on termine par un lavage de la cavité dentaire.

- Isolement de la couronne

Il est évident que l'isolement électrique doit être assuré : en effet, le courant peut être dérivé soit par un afflux de salive, soit par une production excessive de mousse électrolytique dans la chambre pulpaire. Cette mousse est liée au dégagement d'hydrogène à la cathode. Les ions Na^+ refluant vers l'électrode négative, sont hydratés ; ils entraînent des molécules d'eau. Il s'ensuit une humidification de la chambre pulpaire et la formation de soude.

Ce reflux de mousse électrolytique vers la chambre pulpaire entraîne des débris organiques ; la soude permet une lyse de la matière organique ; l'ensemble constitue donc un pré-alésage.

I - 5 - 3 Technique opératoire :

Elle est valable pour la désinfection et pour l'obturation.

Il est bien évident que le diagnostic établi, la radiographie décidera s'il s'agit d'une lésion dont le traitement semble possible ; une lésion kystique évoluant indépendamment de l'état endodontique n'est pas en effet justiciable du traitement ionothérapique.

Il est préférable, s'il en existe, d'attendre la fin d'un accident inflammatoire. Un faux canal éventuel sera obturé. Les obturations, ou coiffes métalliques, seront éliminées afin d'éviter toute dérivation du courant vers la gencive. Un instrument métallique cassé à l'intérieur du canal dentaire sera également une contre-indication.

Ces conditions préalables étant réalisées, la méthode d'application est toujours la suivante : La chambre pulpaire ouverte, on essayera de mettre à jour l'entrée des canaux et d'aléser la partie accessible sans effort de pénétration. Travailler bien entendu à l'abri de la salive ou utiliser un tire-nerf comme cathode. Les variations d'intensité doivent être progressives pour ne pas être douloureuses, et de plus, l'humidification du canal nécessitera bien souvent l'obligation de réduire cette intensité pour rester dans les limites tolérables. Celle-ci varie en général de 1 à 5 milliampères et est le plus souvent proportionnelle à

l'importance de la lésion ; trois à quatre minutes suffisent pour obtenir une stérilisation.

Dans les cas les plus courants, le résultat de l'opération sera la migration des ions OH^- vers l'apex avec la formation de soude (environ 1 centigramme de soude en solution à 4 % pour 1 décicoulomb). Cette dernière permet une action antiseptique. D'autre part, elle provoque la lyse des matières organiques contenues à l'intérieur des canaux, ce qui permet ainsi l'alésage de la plus grande partie possible.

CHAPITRE 2 : LE CHOIX DES MATERIAUX ET LEUR COMPORTEMENT

II - 1 GENERALITES

Nous avons vu que les deux matières utilisables, compte tenu de la taille de leurs particules et du diamètre des conduits dans lesquels ils doivent migrer, se trouvaient dans deux types de solutions colloïdales :

- Une dispersion organique : la résine électrophorétique.
- Une dispersion minérale : la silice.

On sait que les propriétés électrochimiques des solutions colloïdales sont liées à l'existence de charges électriques à la surface des particules et que ces charges ont été mises en évidence par le phénomène d'électrophorèse.

Le déplacement des particules colloïdales que constitue l'électrophorèse est dû en définitive à l'existence de la double couche électrique, bien connue, située à la surface de séparation entre la particule et le liquide.

Si les particules se déplacent dans un champ électrique, il est possible de définir une mobilité comme on le fait pour les ions en solution ; la mobilité d'un ion étant la vitesse limite atteinte par ces ions dans un champ électrique unitaire.

Ces phénomènes sont liés à l'existence de charges électriques qui apparaissent sur les surfaces de chacune des phases à leur interface.

L'électrophorèse des particules colloïdales constitue un exemple de déplacement de la phase solide par rapport à la phase liquide.

Si les particules se déplacent dans un champ électrique, il est possible de définir une mobilité comme on le fait pour les ions en solution ; la mobilité d'un ion étant la vitesse limite atteinte par ces ions dans un champ électrique unitaire.

$$u = \frac{V}{H}$$

$$u = \text{la mobilité en cm}^2 \text{ volt}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$v = \text{la vitesse en cm s}^{-1}$$

$$H = \text{le champ électrique en volt cm}^{-1}$$

De nombreux auteurs ont montré que les particules colloïdales avaient des mobilités de même ordre de grandeur que les ions. La mobilité des particules colloïdales varie suivant le milieu, le PH et les électrolytes peuvent avoir une grande influence sur la vitesse de déplacements électrophorétique.

II - 2 LE CHOIX DES MATERIAUX

Le choix du système dispersé dépend essentiellement de la taille des particules, taille qui doit être

comprise entre le dixième du micron et le micron, pour envisager les cas les plus exceptionnels.

Parmi les différents systèmes dispersés, on peut envisager l'emploi de dispersions organiques, minérales ou métalliques.

Les dispersions organiques

Ce sont essentiellement les dispersions de résines, en particulier les résines électrophorétiques diluables à l'eau qui ont retenu notre attention.

Les dispersions minérales

Ce sont les dispersions d'oxydes divers (silice, alumine) de précipités donnant des solutions colloïdales (Cl Ag - Br Ag) mais il est difficile d'obtenir des dispersions très fines de ces substances, exception faite de la silice. En effet, il existe sur le marché des sols de silice stable commercialisés sous le nom de LUDOX par la firme DUPONT DE NEMOURS et dont la taille des particules est très petite : 0,01 micron.

Les dispersions métalliques

La plupart des métaux finement dispersés peut donner des solutions colloïdales (or, argent) mais les essais expérimentaux portant sur une solution colloïdale d'argent (produit Jétri) ont montré que malgré une bonne pénétration les particules d'argent ne pouvaient réaliser une bonne obturation (espace lacunaire).

Une deuxième condition apparut donc. En effet, il semble indispensable que les particules, après leur pénétration, puissent former une masse homogène et compacte. C'est pourquoi, seules les résines électrophorétiques et la silice, capables de donner soit des coagula, soit des gels, ont été définitivement sélectionnées.

Ces deux derniers types de dispersion ont en outre l'avantage d'exister sous forme de solution stable dans le temps.

II - 2 - 1 Les résines électrophorétiques :

Ce sont les résines synthétiques solubles ou en suspension dans l'eau. Ces résines qui sont pour la plupart des macromolécules linéaires donnent des solutions colloïdales.

Mode de préparation

Les résines électrophorétiques sont obtenues par deux procédés :

- Par émulsion en présence de tensio actif anionique.
- Par insertion de groupes anioniques dans la molécule de résine.

Ce deuxième procédé est le plus utilisé. On introduit dans une structure polymère des groupements carboxyles que l'on neutralise en partie ou en totalité à l'aide de base pour les rendre solubles.

Nature, forme et dimension des particules

Les résines peuvent être cationiques ou anioniques; en fait seule la dernière catégorie s'est répandue. Elles peuvent être schématisées par



Des mesures effectuées sur une dispersion à 10 % de la résine Baycrlil W 460, au microscope électronique au CEA à SACLAY, ont établi que :

- les particules sont sensiblement sphériques (la longue chaîne de la macromolécule s'enroule sur elle-même formant une sorte de pelote sphérique).

- les dimensions varient dans des proportions importantes avec le PH de la dispersion.

A PH 7,4 : diamètre des particules 1 micron

A PH 9 : " " 0,02 micron

Charge des particules

Bien souvent la charge est atteinte par ionisation. Les groupes carboxyles neutralisés à l'aide de base donnent des sels qui se dissocient plus ou moins totalement dans l'eau.

Electro-déposition

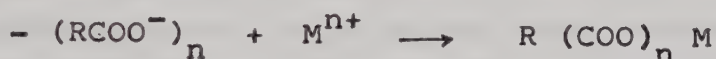
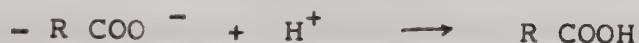
C'est la précipitation sur une électrode d'un soluté colloïdal ou d'une dispersion sous l'influence de

courant électrique. Sur ce point particulier, plusieurs explications sont données :

- Tout d'abord on admet que les groupes ioniques des particules au contact de l'électrode se déchargent et qu'ainsi on a le dépôt d'un film à l'anode.

- D'autre part, les particules acides de résine amenées sur l'anode se trouvent en présence d'ions métalliques provenant de l'attaque du support (dissolution anodique) et d'un excès d'ions hydrogène provenant de la décharge d'ions hydroxyles. Elles s'y coagulent de façon irréversible et c'est le phénomène essentiel de l'électro-déposition.

Les gros ions de la résine arrivant au voisinage de l'anode sont dans un milieu riche en cations, ils s'y insolubilisent par les deux réactions suivantes :



Polymérisation

Ces résines sont pour la plupart thermodurcissables. En solution, les molécules de résine ont des chaînes de longueur restreinte, ce qui leur permet d'être solubles et fusibles. Par chauffage, des réactions se manifestent (polymérisation); les chaînes de la résine finissent par s'unir entre elles en un réseau tridimensionnel. On obtient finalement une couche insoluble infusible, présentant de nouvelles caractéristiques.

Choix de la résine

Parmi les résines électrophorétiques mises à notre disposition, citons :

- la résine L 2886
- la Viaphen P 50 N)
- le Resydrol L 1302) fabricant Syntova
- la Wet 235)
- la Wet 5546) fabricant Synres
- le Luhydran E 22)
- le luhydran E 52) fabricant Badishe
- le luhydran E 52) Anilin und Soda Fabrik
- une résine alkyde)
- mélamine) fabricant Soudée
- la Baycрил W 460)
- la Baycрил W 461) fabricant Bayer

Finalement, notre choix s'est porté sur les résines acryliques et en particulier sur le produit expérimental Baycрил W 460. En effet, cette résine est parfaitement diluable à l'eau en toute proportion ; la suspension est stable dans le temps , sa formulation simple dérivée de butyl acrylique à constituant unique ne comporte pas d'additif. En principe, ces résines acryliques sont imputrescibles.

Les autres résines envisagées sont peu solubles dans l'eau (Luhydran). Il faut avoir recours aux solvants organiques. D'autre part, certaines dispersions sont peu stables dans le temps (les résines phénoliques type Reshydrol présentent des réactions d'oxydation).

II - 2 - 2 Les dispersions colloïdales de silice :

Ce sont des dispersions de silice dans l'eau. La taille des particules est en général nettement inférieure

au micron. Dans ce cas, la surface spécifique par rapport à la masse des particules est très grande, ce qui favorise les phénomènes d'adsorption. Ce sont ces phénomènes qui sont à l'origine de l'existence des charges à la surface des particules de silice (adsorption préférentielle des ions en solution).

Les charges contribuent à la stabilité de la dispersion. En effet, les particules chargées de même signe se repoussent, cette répulsion électro-statique s'oppose à leur agrégation, donc à leur floculation.

Les méthodes de préparation

Les solutions colloïdales sont obtenues soit :

- Par précipitation de silicate de sodium par les acides.
- Par passage d'une solution diluée de silicate de sodium sur résine échangeuse d'ions. Les ions sodium sont échangés par des ions H^+ ; les sols obtenus sont additionnés de faible quantité de soude pour les rendre basiques, ce qui assure leur stabilité.

Les formes et la dimension des particules

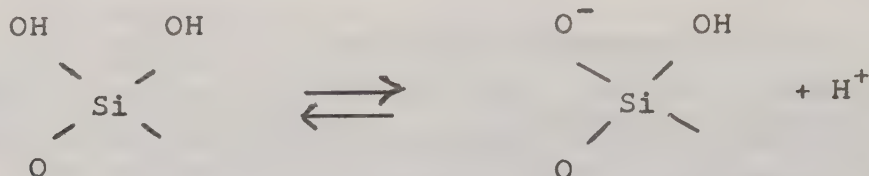
La dimension des particules est fonction de la technique de préparation des sols (0,007 à 0,025 microns).

Des études au microscope électronique ont montré que les particules sont denses, sphériques, non poreuses et constituées de silice amorphe.

La charge des particules

Les particules de silice amorphe fixent par adsorption des molécules d'eau donnant ainsi une silice dont la surface externe est entièrement hydroxylée.

C'est l'ionisation de ces groupements hydroxyle qui est à l'origine des charges.



Plus le PH est élevé, plus l'ionisation est importante. En milieu alcalin, il apparaît des charges négatives. Placées dans un champ électrique les particules migrent vers l'anode.

Le point isoélectrique : Flocculation

Le point isoélectrique est le PH pour lequel la particule a une charge globale nulle. Placées dans un champ électrique, de telles particules auront un déplacement nul. A cette valeur de PH correspond le minimum de stabilité du sol. En effet, les particules non chargées peuvent se rapprocher puis s'agglutiner. Il y a flocculation. Le point isoélectrique observé varie avec les différents types de solutions colloïdales de silice. Il se situe en PH acide (PH = 1,5 à 3 selon les auteurs).

La gélification

Les sols de silice comme la plupart des systèmes dispersés peuvent donner dans certaines conditions des gels.

Il y a alors rupture de la dispersion liquide et formation d'une masse plus ou moins consistante qui est souvent rigide. Il y aurait formation de pont $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$.

La gélification peut être obtenue par action des électrolytes. Ces derniers agissent en provoquant la rupture de la stabilité des systèmes. Mais dans certaines conditions, on observe non plus une floculation où les particules se séparent du liquide intergranulaire, mais la formation d'un gel. Pour les sols basiques de silice, la gélification s'observe vers PH 5-6.

Choix du sol de silice

C'est essentiellement la taille des particules qui a guidé notre choix. Nous avons donc utilisé un sol de silice commercialisé par la DUPONT DE NEMOURS. Ces sols qui sont, pour la plupart nettement basiques (PH 9), existent à des concentrations importantes (15 à 50 %). Ils ont en outre l'avantage de posséder des particules à diamètre calibré.

Parmi les différentes variétés des sols, citons :

- Le Ludox SM : taille des particules 0,007 microns
PH = 9,9 - concentration 30 %
- Les Ludox HS, AS : taille des particules 0,013 à 0,014 microns
PH 9,6 - concentration 30 %, 15 %
- Le Ludox LS : taille des particules 0,015 à 0,016 microns
PH 8,4 - Concentration 30 %
- Le Ludox TM : taille des particules 0,022 à 0,025 microns
PH 8,9 - concentration 50 %

Nous avons finalement retenu le Ludox TM, car il existe, sous la forme de dispersion, à concentration importante et stable dans le temps.

En conclusion, les deux matériaux sélectionnés sont donc :

- Pour les résines : la résine Baycrlil W 460 de chez BAYER (résine acrylique)

- Pour la silice : le Ludox TM, commercialisé par DUPONT DE NEMOURS.

II - 3 COMPORTEMENT DES DISPERSIONS COLLOIDALES DE RESINE ET DE SILICE

Afin d'étudier le comportement de ces deux types de dispersions colloïdales, nous avons examiné leurs propriétés électrochimiques, en particulier :

- la conductibilité des particules
- la mobilité des particules
- le phénomène de floculation
- le dépôt électrophorétique (afin de mesurer le rendement spécifique, c'est-à-dire la masse de matière colloïdale transportée par unité de quantité d'électricité : le Faraday).

II - 3 - 1 La conductibilité :

Les particules colloïdales étant chargées, elles contribuent à la conductibilité de la dispersion. Les lois des solutions vraies peuvent s'y appliquer. De même, on définit une conductibilité équivalente et une conductivité.

Les mesures de conductibilité sont effectuées soit à l'aide d'un conductimètre Tacussel CDA, soit à l'aide d'un pont d'impédance réalisé au Laboratoire.

La conductivité

La conductivité d'une solution colloïdale est définie par analogie avec celle d'une solution d'électrolyte

$$\chi = \frac{1}{R} \frac{l}{s}$$

χ représente la conductivité globale. En effet on a

$$\chi_{gr} = \chi - \chi'$$

ou χ_{gr} est la conductivité de la particule ou granule et χ' la conductivité du liquide intergranulaire.

Etude de la variation de la conductivité de la concentration en fonction

La conductivité des dispersions de résine Baycrlil W 460 et de Ludox TM croit avec la concentration comme pour la plupart des électrolytes.

Etude de la variation de la conductivité en fonction de la température

Entre 20 et 50° C, la conductivité varie rapidement avec la température. Sur des dispersions faiblement concentrées de la résine Baycrlil W 460 et du Ludox TM on vérifie la relation

$$\chi_t = \chi_{20} [1 + \alpha (t - 20)]$$

avec $\alpha = 0,022$, donc voisin de celui de nombreux électrolytes.

La conductibilité équivalente

$$\Lambda = \frac{1000 \chi}{\gamma} \quad \Lambda = \text{la conductibilité équivalente}$$

L'étude de la variation de la conductibilité équivalente en fonction de la racine carrée de la concentration de la dispersion a permis de vérifier la relation linéaire de Debye

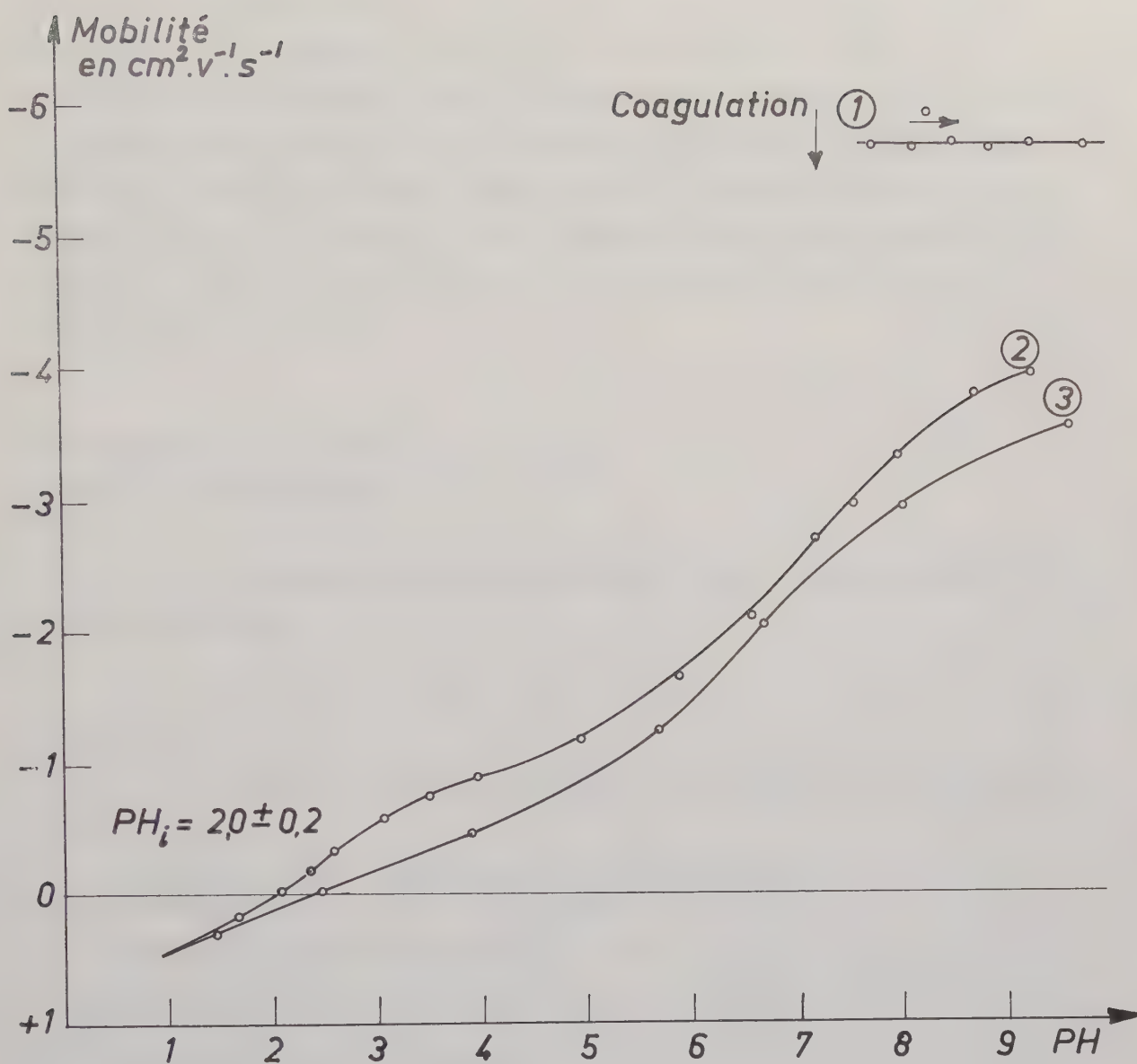
$$\Lambda = \Lambda_0 - a\sqrt{c}$$

ce qui montre que les solutions colloïdales de résine Baycrlil W 460 et de Ludox TM se comportent comme des électrolytes dissociés. Ces résultats confirment la théorie de PAULI : la particule colloïdale n'est pas soluble, elle ne serait pas chimiquement homogène et comprendrait une partie neutre insoluble représentant la majeure partie de la masse et une partie ionogène qui existe en faible quantité à la surface des particules. C'est cette fraction, constituée de composés solubles qui peut se dissocier en totalité ou en partie et expliquer la conductibilité importante des dispersions considérées.

II - 3 - 2 La mobilité :

Les charges électriques à la surface des particules colloïdales ont été mises en évidence par le phénomène d'électrophorèse.

Si on applique un champ électrique au sein d'une solution colloïdale, on observe un déplacement de la



COURBE DE MOBILITE = $f(\text{PH})$

- (1) Résine électrophorétique Baycrl W460 à 4%
- (2) Silice Ludox TM à 2,5% (à μ variable) Méthode de la Frontière mobile
- (3) Silice Ludox AS à 2,5% Méthode du transport de masse (Bachot)

partie dispersée vers l'anode, si les particules sont chargées négativement. C'est ce qu'on observe pour les particules de résine et de silice. La mobilité a été étudiée au moyen de la méthode de la frontière mobile. Nous avons utilisé l'appareillage classique légèrement modifié, le compartiment de mesure a été remplacé par un dispositif à robinet d'emploi plus facile et qui donne des résultats plus reproductibles.

La mesure de mobilité est effectuée sur des dispersions faiblement concentrées (2,5 %) en masse de produits colloïdaux.

La mesure de la mobilité d'une résine Baycrl W 460 a donné :

$$U = 5,8 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

Sur les sols de silice on a obtenu les résultats suivants :

$$\text{Ludox HS : } u = 3,7 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ludox TM : } u = 4,0 \times 10^{-4} \text{ " " "}$$

$$\text{Ludox SM : } u = 4,2 \times 10^{-4} \text{ " " "}$$

$$\text{Ludox AS : } u = 3,7 \times 10^{-4} \text{ " " "}$$

La mobilité des particules colloïdales de résine et de silice est donc du même ordre de grandeur que les ions. Elle peut être influencée par divers facteurs, en particulier le PH et l'ajout d'électrolyte.

II - 3 - 2 - 1 Influence du PH de la dispersion sur la mobilité des particules

Point isoélectrique

Le point isoélectrique ou point de charge nulle, est une grandeur caractéristique des solutions colloïdales. l'étude de la courbe mobilité = f(PH) permet d'en atteindre la valeur. En effet, pour une valeur de PH correspondant au point isoélectrique, la valeur de la mobilité s'annule, les particules placées dans un champ électrique ont un déplacement nul.

II - 3 - 2 - 1 - 1 Essai sur la Baycrlil W 460

La mobilité de la résine ne varie pas avec le PH, la courbe mobilité = F (PH) est une droite.

II - 3 - 2 - 1 - 2 Essai sur le Ludox TM

L'étude de la courbe mobilité = f (PH) a permis de déterminer le PH du point isoélectrique de la silice. En effet, à cette valeur déterminée (PH = 2) la mobilité s'annule, la charge globale est alors nulle. Pour des valeurs de PH très supérieures à 2 (7 - 9) la mobilité est maximale, la charge de la particule de silice est alors fortement négative.

Pour les valeurs de PH inférieures à 2, la charge s'inverse. Il apparait une légère charge positive. La silice présente donc un caractère amphotère marqué. A la valeur du point isoélectrique, c'est-à-dire

$$PH_i = 2,0 \pm 0,2 \text{ U PH}$$

la dispersion présente un minimum de stabilité, il y a floculation.

II - 3 - 2 - 2 Influence des électrolytes

Ces derniers en augmentant la force ionique entraîne une diminution de la stabilité du système. Pour vérifier l'influence des électrolytes, la mobilité est mesurée au moyen de la méthode de la frontière mobile sur des dispersions à 2,5 % en masse de la résine Baycril W 460 et du Ludox TM réalisées dans des solutions à concentration croissante en électrolytes (10^{-5} M à 10^{-1} molaire).

II - 3 - 2 - 2 - 1 Essai sur la Baycril W 460

Influence des électrolytes monovalents

La mobilité de la résine Baycril W 460 décroît quand la concentration en électrolytes croît. Les cations monovalents (Na^+ , K^+ , NH_4^+) exercent une action identique.

La nature de l'anion n'est pas indifférente, les électrolytes tels que ClNa , NaNO_3 , NaF , possédant un cation commun ont des effets variables.

Influence des électrolytes dissymétriques

Les anions divalents (sulfate) et les anions trivalents (phosphate) provoquent une décroissance de la mobilité nettement plus accentuée que les anions monovalents.

Le rôle des cations polyvalents apparaît encore plus nettement. Leur action est d'autant plus marquée que la valence est plus élevée. Ceci est en accord avec la règle Hardy (le pouvoir flocculant doit augmenter avec la valence).

La floculation apparait pour des concentrations très faibles en électrolytes à cation polyvalent :
 5×10^{-3} M pour les cations divalents (calcium magnésium)
et 6×10^{-4} M pour les cations trivalents (aluminium).

II - 3 - 2 - 2 - 2 Essai sur la silice

L'addition d'électrolytes monovalents entraîne une diminution de la mobilité, mais cette dernière tend vers une valeur limite $u = 3 \times 10^{-4} \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ quelle que soit la concentration en électrolytes.

Les anions (Cl^- et NO_3^-) et les cations monovalents (sodium, potassium, ammonium) ont une action équivalente.

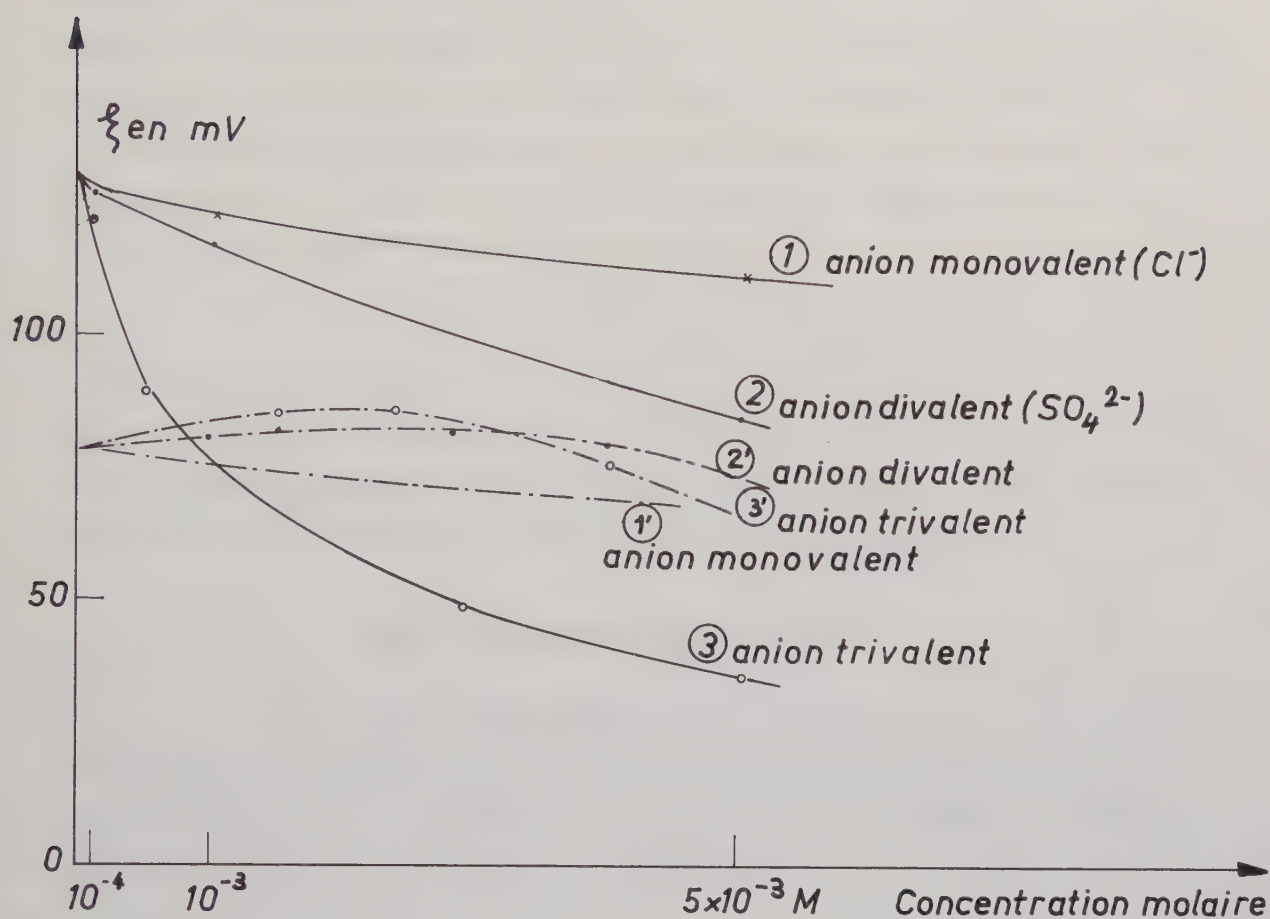
Influence des cations polyvalents

La diminution beaucoup plus rapide de la mobilité provoquée par les cations (calcium, magnésium et aluminium) comparée à celle produite par les ions monovalents est nettement mise en évidence.

L'addition de chlorure de calcium ou de nitrate de magnésium à des concentrations supérieures à 4×10^{-5} M ou de nitrate d'aluminium à une concentration de $0,5 \times 10^{-5}$ M entraîne la floculation.

II - 3 - 3 Floculation :

C'est la réaction de neutralisation des charges de la particule colloïdale par des ions de signes opposés entraînant la destruction de la stabilité de la dispersion.



COURBES $\zeta = f(C \text{ électrolyte})$

Influence des Anions

Essais sur la résine Baycril W 460 à 2,5% : courbes 1.2.3.

Essais sur la silice : Ludox AS 2,5% : courbes 1'2'3'

Les particules non chargées peuvent se rassembler et précipiter : il y a floculation. Le rôle des cations, donc des électrolytes, est essentiel. Afin de comparer l'action des divers électrolytes à l'égard d'une dispersion, on mesure le pouvoir de floculation, c'est-à-dire la plus faible concentration d'électrolyte susceptible d'entraîner la floculation. Ce pouvoir flocculant est influencé par divers facteurs (température, concentration, agitation) mais dans des conditions bien définies ce pouvoir flocculant augmente avec la valence du cation de l'électrolyte.

L'action de l'électrolyte serait une réaction s'effectuant entre celui-ci et la partie active de la particule (groupe ionogène). La partie inerte ne participe pas à la réaction, ce qui explique que des quantités très faibles d'électrolytes puissent provoquer la floculation.

II - 3 - 4 Dépôt électrophorétique :

A partir de dispersions de résine et de silice, il est possible de réaliser des dépôts par électrolyse. Les particules étant chargées négativement, le dépôt se fera à l'anode.

L'étude du dépôt électrolytique a été entreprise, d'une part, afin de définir le mécanisme de la décharge des particules colloïdales, d'autre part, afin de mesurer la quantité de matière transportée par Faraday.

Les essais n'étant pas réalisables, "in vivo", sur la dent, ont été effectués sur des électrodes métalliques (nickel ou fer).

Le dépôt de résine est à la base du procédé de peinture par électrophorèse. Par contre, le dépôt de silice n'est pas connu, il est conducteur. Comme dans le cas de dépôts électrolytiques de métal, les particules sont amenées du sein de la solution jusqu'à l'interface métal solution. On doit considérer :

- Le transport de masse régit par les phénomènes de migration, diffusion, convection.

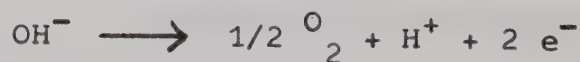
- Le transfert de charge. Ici deux hypothèses :

- Soit la décharge directe des particules colloïdales sur l'anode qui est peu probable
- Soit une neutralisation de la charge des particules par les cations.

Cette deuxième hypothèse semble plus vraisemblable.

Il a été démontré que le dépôt de résine serait dû à la variation de PH dans la zone du proche analyte, donc à l'action des ions H^+ . Ces cations seraient à l'origine de la floculation de la résine sur l'électrode.

La réaction productrice des cations H^+ serait l'oxydation de l'eau ou des OH^- selon



Les études du dépôt de silice ont été effectuées à l'aide de la méthode classique qui consiste à tracer des courbes de polarisation. Nous avons montré que la réaction responsable du dépôt de silice serait la production de

cations provenant de la dissolution anodique du métal, cations qui seraient responsables de la floculation de la silice sur l'électrode.

En effet, le dépôt de silice s'observe uniquement sur anodes attaquables dont la surface est active et en milieu non passivant.

Pour déterminer la masse de matière colloïdale transportée, les mesures de rendement spécifique de dépôt sont effectuées sur anode de nickel ou de fer.

L'influence de divers paramètres a été étudiée, afin de déterminer les conditions optimales de rendement, donc les meilleures conditions d'emploi.

II - 3 - 4 - 1 Influence de la densité du courant

Essai sur la résine Baycril W 460

Le rendement varie avec la densité du courant. Il est très bas pour les faibles valeurs de la densité de courant, il ne devient constant qu'au delà de 3 mA/cm^2 . Le rendement est alors de 2.400 g par Faraday.

Essai sur le Ludox TM

Le rendement est constant entre 3 et 18 mA/cm^2 , il est de l'ordre de 4.000 g par Faraday.

II - 3 - 4 - 2 Influence du PH

Essai sur la résine Baycril W 460

On mesure les rendements sur des dispersions

dont on fait varier le PH de 7,2 à 9,8. L'augmentation du PH se traduit par une diminution sensible du rendement de dépôt.

Ces résultats confirment le rôle des ions H^+ dans le mécanisme du dépôt de la résine. En effet, le PH de floculation de la Baycril W 460 se situe en milieu légèrement acide (PH voisin de 6,8) ; plus on s'éloigne du PH de floculation, plus grande sera la quantité d'ions H^+ nécessaire à la précipitation de la résine ; plus grande également la quantité d'électricité consommée.

Essai sur le Ludox TM

On observe un maximum de rendement à PH 9 (PH initial de la dispersion). Au dessous de cette valeur, le rendement diminue très rapidement pour s'annuler à PH 6. Parallèlement, toute addition d'ions H^+ entraîne une baisse très nette de la mobilité. Si la migration des particules est perturbée, le rendement diminue.

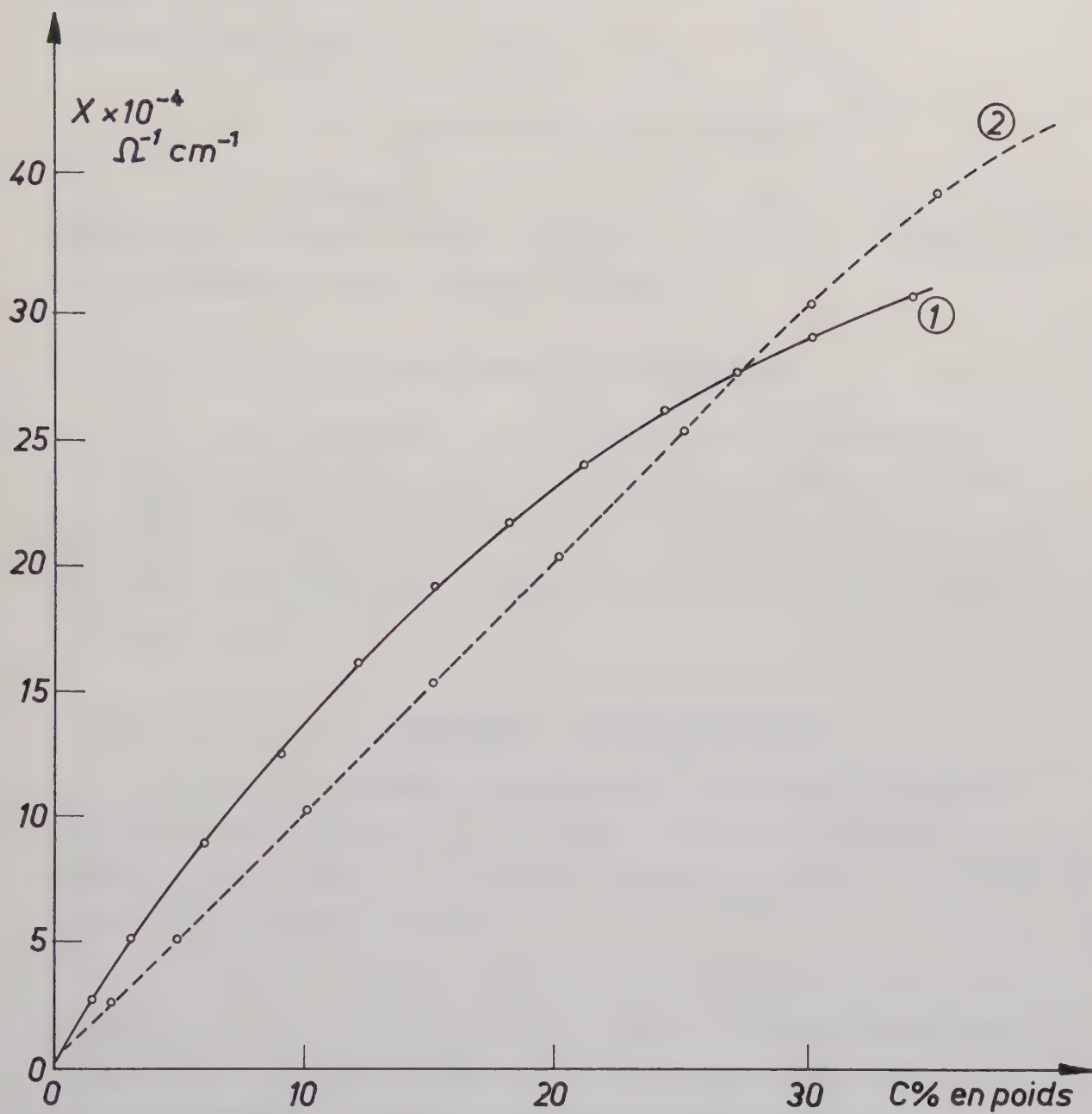
II - 3 - 4 - 3 Influence de la concentration

Essai sur la résine Baycril W 460

Pour une valeur de PH maintenue constante à PH 7,2, le rendement (on entend par rendement de dépôt, la masse de matière colloïdale déposée sur l'électrode par unité de quantité d'électricité, c'est-à-dire le Faraday ; on l'exprime en g/Faraday) augmente avec la concentration de 2 à 8 % en ~~masse~~ de la résine ; ensuite pour des concentrations de 8 à 16 %, le rendement de dépôt est constant. Au-delà, le rendement croît très rapidement avec la concentration mais le dépôt est alors visqueux et peu adhérent.

Essai sur le Ludox TM

Le rendement de dépôt augmente avec la concentration ; il est de 4.000 g pour une dispersion de silice à 10 %



Conductibilité Spécifique en fonction de la Concentration

(1) Résine Baycrlil W 460

(2) Silice TM

et de 6.000 g par Faraday pour une dispersion de 50 %. Il semble donc que le dépôt de silice soit facilité par l'apport plus grand de particules vers l'interface.

II - 3 - 4 - 4 Influence de la température

Le rendement de résine et de silice croît avec la température. Cette dernière augmente la vitesse des réactions électrochimiques, donc celles du dépôt.

II - 3 - 4 - 5 Influence de l'agitation

Une agitation vive a pour effet de diminuer le rendement du dépôt de silice et de résine. Ceci se vérifie aux faibles valeurs de la densité de courant. L'agitation a pour effet de diminuer la concentration en cations dans la couche de diffusion, et, parallèlement, limite le processus de floculation.

II - 3 - 4 - 6 Influence des électrolytes

Dans les deux cas résine et silice, l'addition d'électrolytes entraîne une baisse rapide du rendement spécifique de dépôt. Aux concentrations élevées en électrolytes le rendement devient nul, le dépôt n'est plus observé.

L'influence nocive des électrolytes peut s'expliquer par les modifications de la migration des particules ; ce sont les ions de l'électrolyte qui prennent une part prépondérante au transport du courant. Les particules ne sont plus amenées au voisinage de l'électrode, dans la couche de diffusion, en quantité suffisante pour y subir une floculation libre.

II - 3 - 4 - 7 Conclusion

Cette étude sur le dépôt électrophorétique, et en particulier sur la mesure de la masse transportée par Faraday a mis en évidence :

- Le rôle de la migration dans le processus de transport en milieu non agité.

- Le rôle des cations dans la réaction de transfert anodique , cations qui sont responsables de la floculation des particules colloïdales sur l'électrode.

Les résultats obtenus sur les mesures de rendement spécifiques de dépôt, ont permis de préciser les conditions optimales en vue d'une obturation possible des canalicules dentaires.

II - 3 - 4 COMPORTEMENT DES DISPERSIONS COLLOIDALES DE RESINES ET DE SILICE STERILISEES PAR RAYONNEMENTS IONISANTS

Une des conditions à l'utilisation des matériaux choisis, était la nécessité de pouvoir utiliser "in vivo" ces deux produits avec la certitude qu'ils pouvaient être stérilisés.

Nous avons pensé utiliser la technique de "Radiostérilisation".

RADIOSTERILISATION

Ce mode de stérilisation est utilisé dans tous les cas où la stérilisation par la chaleur est impossible ou

difficile, ce qui est le cas de nos dispersions colloïdales de résine et de silice qui se polymèrisent sous l'effet de la chaleur.

La stérilisation est réalisée par l'action des rayonnements. Il existe actuellement deux théories quant au mode d'action, d'une part, la théorie de la cible ou de l'action directe, et d'autre part, la théorie de l'action indirecte.

Théorie de la cible

On pense qu'une cellule est tuée quand une particule ionisante délivre son énergie tout à côté ou dans une structure de la cellule, une molécule biologiquement importante, par exemple une molécule d'ADN (acide désoxyribonucleïque).

Mais cette théorie est insuffisante, car elle n'explique pas tout.

Théorie de l'action indirecte

Comme il y a beaucoup d'eau dans les organismes vivants, il y a beaucoup de chance pour que la perte primaire d'énergie se fasse dans une molécule d'eau. A ce moment, il y a formation de radicaux libres H° et OH° ; en présence d'oxygène, il y a formation du radical HO_2° et ces radicaux initient toute une série de réactions radiochimiques en chaîne jusqu'au moment où ce sera une molécule très importante qui sera atteinte.

Ces deux théories sont valables mais ne le sont que partiellement. En fait, pratiquement, il faut retenir

qu'un des aspects intéressants de l'action des rayonnements est, qu'avec une libération d'énergie relativement minime, il se produit des dégâts considérables entraînant la destruction des cellules vivantes, en particulier des micro-organismes dans le cas de radiostérilisation.

En fait, quand on soumet une suspension bactérienne à un rayonnement (par exemple rayon X), on démontre que le pourcentage de cellule qui, après l'irradiation sont capables de former des colonies approche de zéro ; lorsqu'on atteint une dose de rayonnement voisine de 1.000.000 de rads (voir courbe) - pour 1 rad, 100 ergs sont absorbés par 1 g de matière irradiée - ceci correspond donc à une très faible libération d'énergie.

En radiostérilisation, les doses de rayonnement utilisées varient de 1.000.000 à 5.000.000 rads.

Pour effectuer une stérilisation efficace, il est important de savoir quels sont les facteurs qui peuvent modifier la sensibilité au rayonnement des micro-organismes. Il faut noter d'abord, que d'un type à l'autre de micro-organisme, la radiosensibilité varie ; les formes végétatives sont très radiosensibles, ensuite la sensibilité décroît quand on passe aux champignons, aux levures et enfin aux spores bactériennes qui peuvent être très radio-résistantes (il faut dépasser 2.000.000 rads).

Parmi les autres facteurs qui peuvent modifier la radiosensibilité d'une cellule, citons le milieu ambiant (teneur en oxygène, en eau, effet de la température) et la nature du rayonnement.

En effet, pour une même dose de rayonnement exprimée en rads, la radiosensibilité des cellules varie avec la nature du rayonnement.

Que le rayonnement soit électromagnétique comme les rayons X ou gamma, que le rayonnement soit particulaire comme les électrons, les bêtas ou les protons, ou que le rayonnement soit formé de particules neutres comme les neutrons, on a finalement apparition dans la cellule d'un certain nombre de molécules excitées ou ionisées.

Ce qui va différencier les divers rayonnements, c'est la distribution spatiale de ces ionisations et de ces excitations.

Avec un rayonnement à très forte densité d'ionisation comme les rayonnements alpha, il y a pratiquement libération d'énergie en un seul point, alors qu'avec des rayonnements gamma, il va y avoir formation d'électrons secondaires dans la solution et pour la même quantité totale d'énergie, les ionisations et les excitations seront distribuées sur un trajet beaucoup plus long.

Mais en radiostérilisation, on ne peut pas utiliser le rayonnement alpha car sa pénétration est très faible. On ne peut utiliser les neutrons, à cause du danger de radioactivation, si bien que pratiquement on se sert de rayonnement gamma ou d'électrons accélérés, qui, sur le plan pratique ont la même efficacité biologique, c'est-à-dire que les doses de rayonnement seront les mêmes.

En définitive, on utilise donc, soit des sources gamma (cobalt 60 ou césium 137), soit des électrons accélérés.

Une des objections faite à la radiostérilisation, était qu'on allait créer de la radioactivité. En réalité, quand on irradie par des rayons gamma, seule la radioactivité induite par transition isomérique est possible, et, elle est de 10^{10} inférieure à la radioactivité naturelle.

Le point le plus crucial est le choix de la dose à utiliser. En utilisant une dose très élevée, on est sûr de détruire pratiquement tous les germes, mais on peut également altérer les dispersions.

Si on admet qu'un objet est stérile quand il contient moins de 10^6 germes viables, si on admet qu'on a une contamination de 100 germes par objet, il faudra utiliser un facteur de réduction de 10^8 . Les auteurs Danois ont montré qu'une dose de 3,5 Mrad correspondait à un facteur d'inactivation de 10^{12} , c'est-à-dire au facteur d'inactivation qu'on obtient en général en se servant de l'autoclave.

Par contre, les auteurs Anglais et Américains utilisent une dose de 2,5 MRad et ont montré sur différents streptocoques et staphylocoques avec des spores de bacille subtilis de B. Tetanos avec B pumulus que tous les échantillons étaient stériles après irradiation.

Radiostérilisation des dispersions

Les dispersions de silice et de résine Baycril W 460 ont été stérilisées par irradiation par les rayons gamma, la dose utilisée était de 2,5 MRad (source : cesium 137). Il n'y a pas de modification des dispersions.

Contrôle de la stérilité

On utilise les milieux de culture classiques. Le temps d'incubation varie selon les auteurs entre 13 j et

21 j, mais pratiquement, après 7 j, tous les échantillons qui doivent être positifs, le sont.

Fig. 1

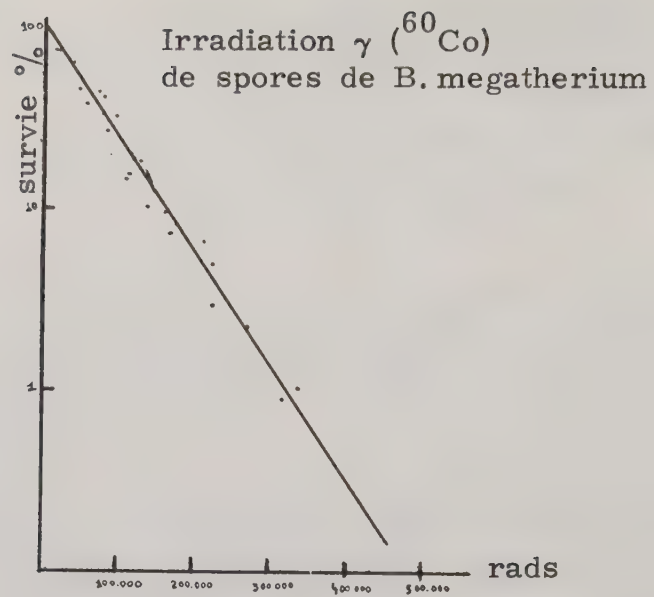
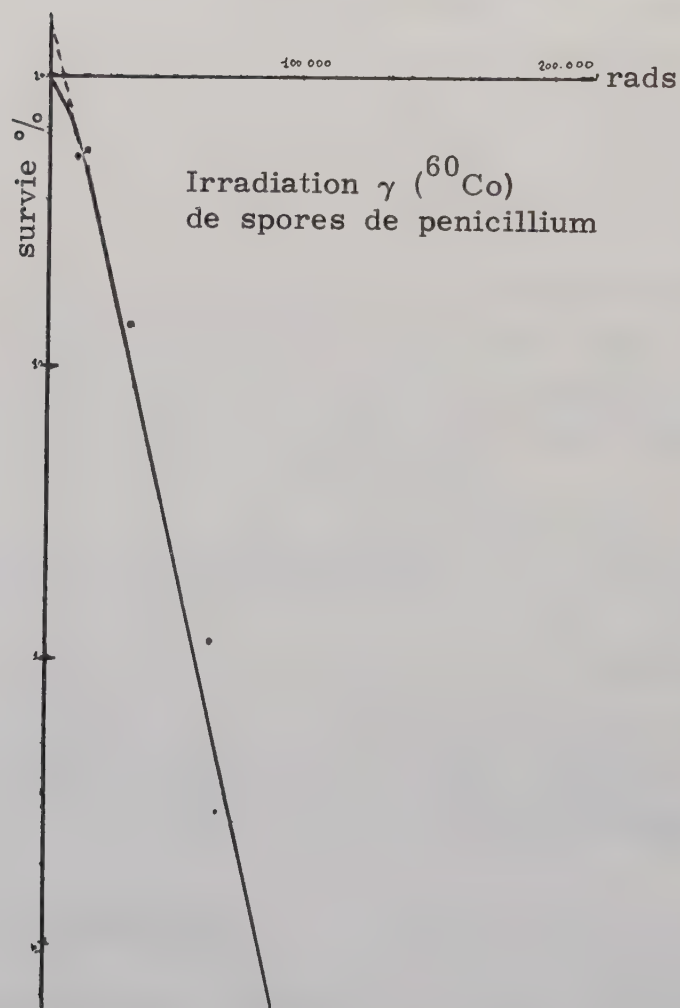


Fig. 2



T R O I S I E M E P A R T I E

RESULTATS ET CONCLUSIONS

GENERALITES SUR LA TECHNIQUE UTILISEE

Le mode opératoire utilisé pour les différentes migrations, fut toujours le même, aussi nous ne le répéterons pas à chaque résultat.

Dans un premier temps, pour essayer de matérialiser préalablement les sorties de canaux, nous avons presque toujours effectué une migration d' OH^- , la dent étant plongée dans un gel transparent contenant du NaCl à 7/1000 et quelques gouttes de phtaléine du phénol.

Cette manipulation avait en outre l'avantage de reconstituer les conditions dans lesquelles devront s'effectuer le premier temps opératoire en clinique, c'est-à-dire la stérilisation de l'endodonte.

Nous avons procédé également à des migrations sur des dents provenant de cadavres, dont la plupart possédaient des canaux débarrassés de toutes matières organiques. Elles étaient rendues conductrices par immersion dans du sérum physiologique porté à la température de 100° pendant environ 15 minutes, chambre pulpaire ouverte, puis laissée dans le sérum jusqu'au moment de l'expérience.

Dans de nombreux cas, nous avons utilisé des dents fraîchement extraites de la veille, dont la chambre pulpaire était vidée par nos soins de son paquet vasculo-nerveux. La partie accessible du canal était élargie de manière à réduire le chemin à parcourir pour les produits utilisés, mais nous n'avons pas cherché, au contraire, à accéder au tiers inférieur de celui-ci.

La migration d' OH^- effectuée, nous avons éliminé la plupart des dents dont les points de sortie, matérialisés par la phtaléine, nous semblaient insuffisants.

La technique opératoire était, alors, toujours la même : introduction au moyen d'une seringue de la quantité de résine ou de silice nécessaire au remplissage de la chambre pulpaire et de la partie alésée du canal. Mise en place de l'électrode négative plongeant dans la chambre. Cette électrode était constituée par un fil de platine afin d'éviter une réaction du métal avec le produit d'obturation choisi. Temps d'application : 3 à 4 minutes pour la migration d' OH^- . "In vivo", cette technique peut se faire à quelques jours d'intervalle. L'intensité était choisie en fonction de la tolérance de l'organisme humain : 3 milliampères. Les mesures effectuées avec les différentes dents donnent une résistance de 15 à 20.000 ohms pour une tension de 40 volts.⁽¹⁾

Nous n'avons pas remarqué de variations d'intensité pendant la migration des produits contrairement à ce

(1) Compte rendu à l'Académie des Sciences (3 Mai 1971) :
Etude par traceur de la pénétration du fluor dans
l'émail des dents de Jean RAULO, Raoul JEAN, Guy
BOUCHIER présentée par M. Jean Jacques TRILLAT.

qui se passe avec les OH^- . La dent après l'électrolyse de résine était séchée à l'étuve pendant 15 minutes (température 60°).

Nous avons procédé ensuite à des sections longitudinales grâce à une tronçonneuse "Bronwill" fabriquée par BRONWILL, INC, Rochester NEW-YORK 14 606.

Cette tronçonneuse comporte un dispositif micrométrique d'avance automatique de l'échantillon permettant de faire varier sa progression de 10 à 20 mm par minute.

Un porte échantillon fabriqué par nos soins permettait de fixer la dent dans différentes positions. Celle-ci étant rendue solitaire de ce dernier par un ciment provisoire à usage dentaire, puis, par la suite, par du plâtre dur à prise rapide.

La section était opérée par un disque de 100 mm de diamètre à garniture de diamant et sous courant d'eau. Un coffrage de sécurité permettait la manipulation des produits actifs dans certains cas, et l'évacuation des résidus dans le réseau actif. Les sections obtenues pouvaient varier de 30 à 100 microns d'épaisseur, grâce à un contrôle micrométrique de la coupe à 2,5 microns près.

Nous nous sommes efforcés de positionner des échantillons de manière à obtenir des sections médianes de la partie terminale de la racine afin de retrouver le maximum de canaux secondaires dans nos examens microscopiques ultérieurs.

EXAMENS MICROSCOPIQUES

La dent sectionnée était placée sur une pâte

molle "plastiline" pour en assurer la fixité dans un plan horizontal. Nous avons procédé à un examen microscopique en lumière blanche.

L'éclairage direct de l'échantillon, à la sortie de la tronçonneuse même à faible grossissement est insuffisant pour permettre un examen. Nous avons donc procédé à une série de polissages.

PREPARATION DE L'ECHANTILLON EN VUE DU POLISSAGE

On utilise pour cela la résine "Stratil A 116" de PECHINEY-St GOBAIN à laquelle on ajoute le catalyseur X 8. Le durcissement est assuré par une très faible quantité de durcisseur Y 3. Cette dernière était étudiée pour obtenir une prise en masse très lente de la résine Stratil (12 à 24 heures minimum) afin d'éviter tout retrait.

POLISSAGE

Selon la quantité de Stratil recouvrant la dent, on utilise des papiers abrasifs de granulation de plus en plus fine (180 à 800) et pour terminer, le polissage s'effectue à la pâte diamantée ou à l'alumine. A ce stade, on utilise un disque de feutre rotatif sur lequel est disposée la pâte de granulation, 6μ , 3μ et 1μ jusqu'à élimination des raies de polissage. L'échantillon tenu à la main est en permanence présenté à l'attaque après avoir subi un mouvement de rotation sur lui-même dans le plan horizontal.

PRESENTATION AU MICROSCOPE

Les meilleurs résultats ont été obtenus après polissage avec un microscope Leitz à lumière blanche.

Dans un premier temps, on a procédé à des examens microscopiques avec des grossissements variant de 5,5 à 13. Ensuite, à un examen plus approfondi, avec des grossissements variant de 30 à 500 qui donnaient des résultats plus détaillés. Dans les deux cas, grâce à un appareil photographique, on avait la possibilité d'obtenir des clichés de l'objet, clichés que nous allons commenter.

CHAPITRE 1 : RESULTATS AVEC LES RESINES

P L A N C H E 1

-----x

Echantillon : prémolaire supérieure, dent fraîchement extraite.

Matériau d'obturation : résine Baycril non pigmentée W 460

Photo N° 1 : G x 5,5

On peut voir que la résine remplit le canal principal qui est divisé dans sa partie terminale. L'absence de produit sur le côté gauche de l'image provient de ce que la section ne passe pas exactement par le plan de ce canal et lorsque cette dernière a été pratiquée, il est vraisemblable que la résine a été entraînée. Par contre, on peut voir qu'elle a migré puisqu'on la retrouve à l'apex après la courbe qu'a suivi ce canal bifurqué.

Photo N° 2 : G x 13

Une série de polissages successifs donne le détail de la région apicale. La résine remplit les deux sorties de chaque côté de l'image et on peut voir d'une manière plus précise l'amorce de la jonction avec la partie supérieure de ce deuxième canal.

De même se dessine une sortie supplémentaire à gauche et au-dessus de l'apex.

OBTURATION
A LA RESINE BAYCRIL W 460

PLANCHE 1

ECHANTILLON n° 1



Photo n° 1
G x 5,5

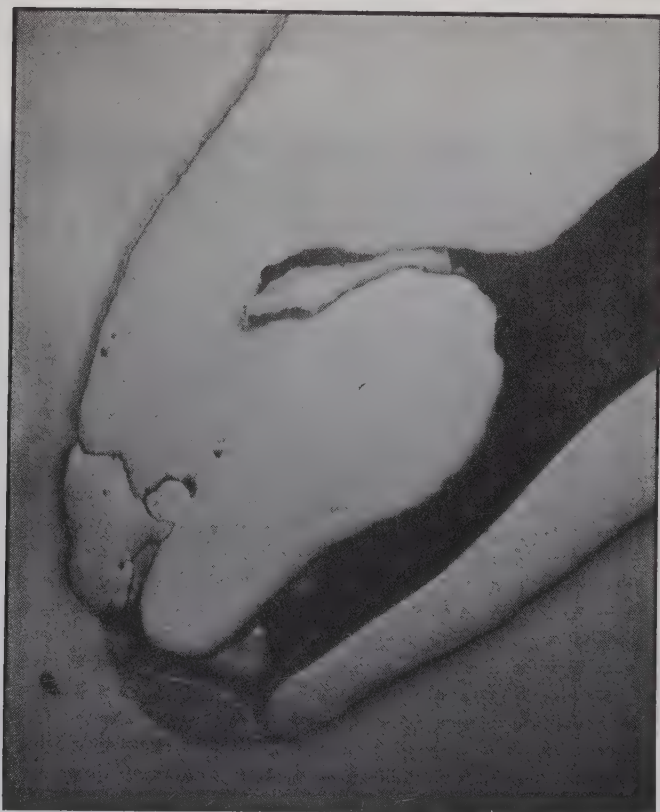


Photo n° 2
G x 13

P L A N C H E 2

-----■

Photo N° 1 : En continuant le polissage sur le même échantillon, il nous a été possible d'obtenir avec G x 80 l'image d'un canal aberrant à sa sortie ainsi que la section de 3 canaux de chaque côté du canal central parfaitement rempli.

Photo N° 2 : Donne un grossissement plus détaillé de la même image, mais avec un grossissement de 160.

OBTURATION A LA RESINE BAYCRIL W 460

PLANCHE 2

ECHANTILLON n° 1

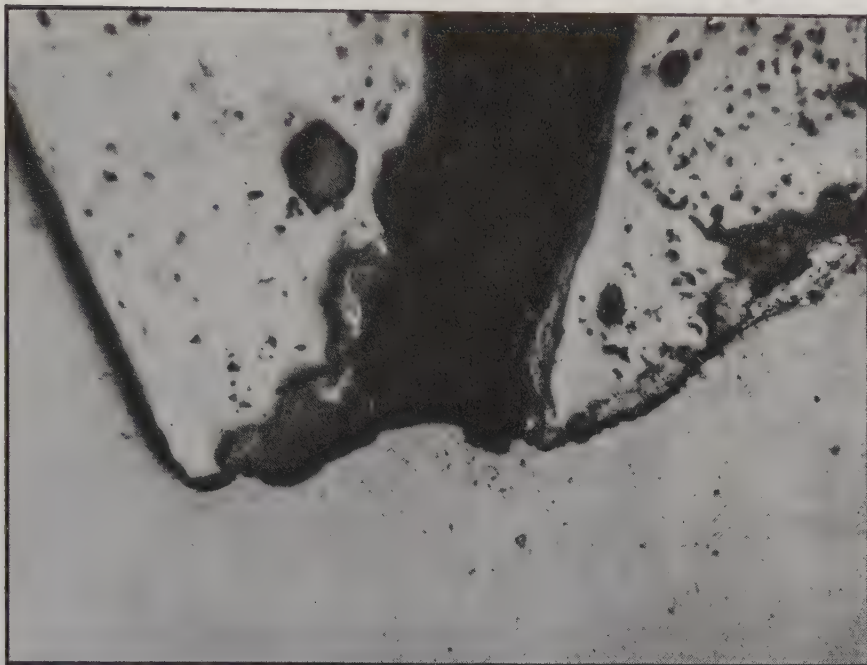


Photo n° 3
G x 80

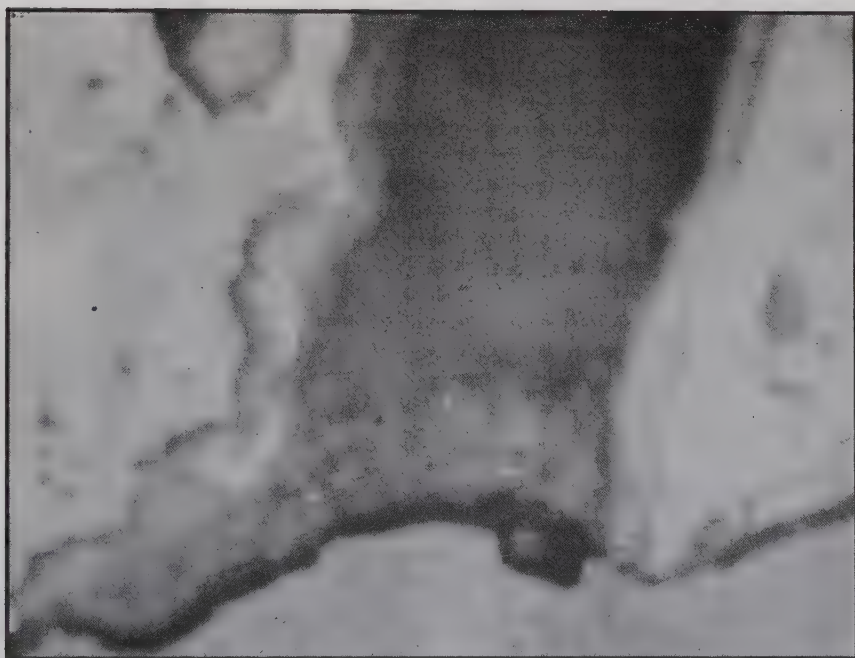


Photo n° 4
G x 160

P L A N C H E 3

Echantillon : Canine supérieure. Dent provenant d'un squelette humain ne comportant aucune trace de débris organiques dans l'endodonte. Cette dent a été rendue conductrice par ébullition dans du sérum physiologique après trépanation de la chambre pulpaire.

Matériau : Résine Baycristal 33 % non pigmentée.

Après la migration, la dent a été séchée à la chaleur 15 minutes à 60°.

Photo N° 1 : G x 13,5

Sur le 1/3 inférieur de la racine représentée sur cette photo, on remarque deux points de sortie. L'un situé dans la partie terminale, l'autre dans la moitié supérieure droite de la photo. Enfin, un peu au-dessus, une tache noire, correspondant à la section d'un canal, qui semble parfaitement obturé.

Photo N° 2 : G x 160

Après avoir poussé le polissage, on obtient une image du canal dans la région apicale et on peut constater qu'il est complètement rempli.

OBTURATION A LA RESINE
BAYCRIL W 460

PLANCHE 3

ECHANTILLON n° 2



Photo n° 1
G x 13,5

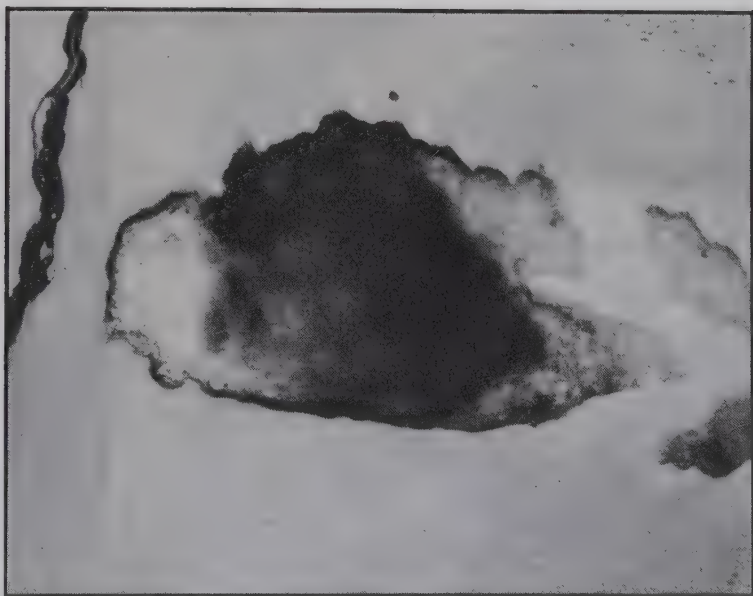


Photo n° 2
G x 160

P L A N C H E 4

Echantillon : prémolaire provenant également d'un squelette humain. Nous avons utilisé la même technique et le même matériau que pour les échantillons précédents.

Matériau d'obturation : Résine Baycril pigmentée.

Photo N° 1 : G x 13,5. Prise au Polaroid après un polissage incomplet.

On voit apparaître un delta apical à 3 sorties, complètement rempli par la résine, qui du fait de sa pigmentation se détache parfaitement sur le fond de dentine.

Photo N° 2 : G x 10

Même image obtenue sur fond noir, la granulation de la résine apparaît mieux.

Photo N° 3 : G x 50

Le delta apparaît complètement et la dentine présente bien les caractéristiques d'une dent déshydratée.

Photo N° 4 : G x 80

On voit parfaitement la migration de la résine qui remplit le delta apical avec du reste un certain dépassement.

OBTURATION A LA RESINE ELECTROPHORETIQUE PIGMENTEE
PLANCHE 4 ECHANTILLON n° 3

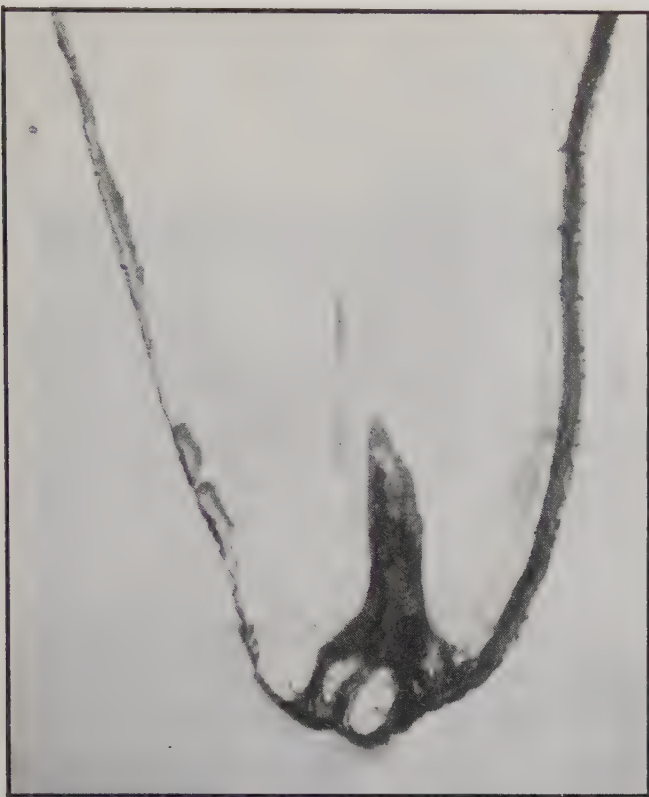


Photo n° 1 G x 13



Photo n° 2 G x 10

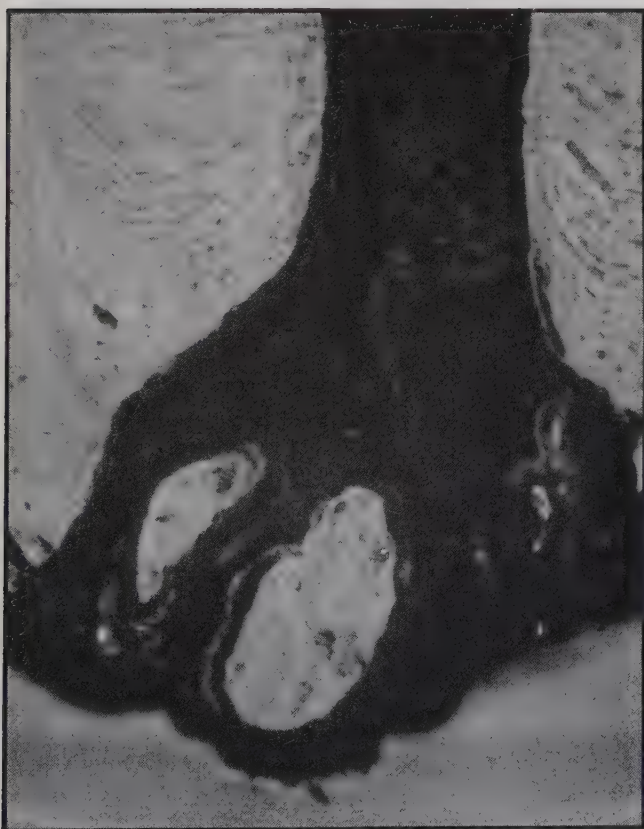


Photo n° 3 G x 50

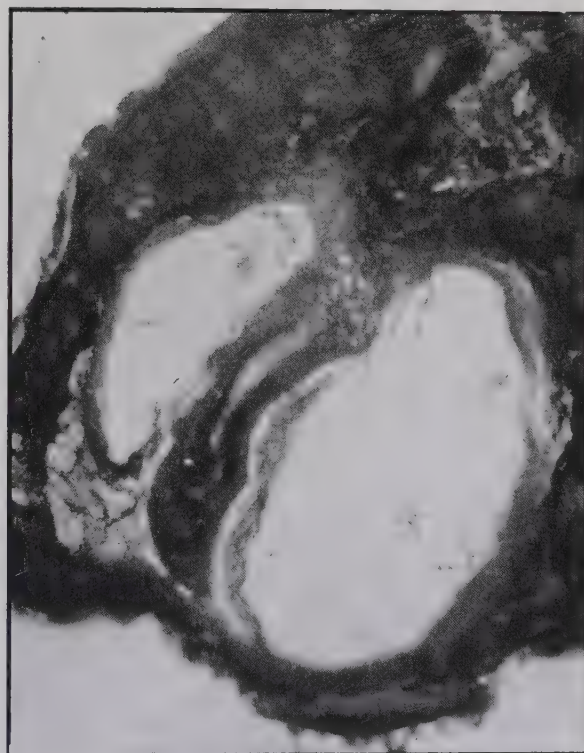


Photo n° 4 G x 80

P L A N C H E 5

Echantillon : canine monoradiculée fraîchement extraite.

Photo N° 1 : G x 13,5

On peut voir en plus du canal central, l'amorce de 3 canaux secondaires orientés vers la gauche de l'image.

Photo N° 2 : G x 80

Cette photo donne l'image d'un canal aberrant parallèle au canal principal qui semble parfaitement obturé. Par contre, sur le canal central, malgré le filtrage de la résine, à travers les résidus organiques de l'apex, il semble que la migration ait été arrêtée avant l'obturation complète du canal. Vraisemblablement, il aurait fallu poursuivre plus longtemps la migration électrolytique du produit.

OBTURATION A LA RESINE
ELECTROPHORETIQUE PIGMENTEE

PLANCHE 5 ECHANTILLON n° 4



Photo n° 1
G x 13,5

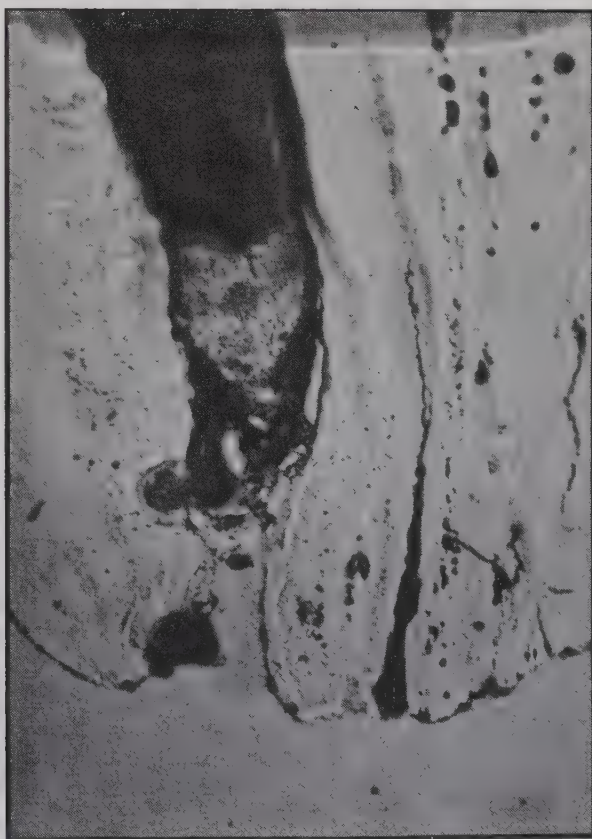


Photo n° 2
G x 80

P L A N C H E 6

Même échantillon que planche 5.

Photo N° 3 : G x 160

Après un polissage plus poussé qui amène le dégagement de la partie apicale qui était certainement dissimulée par une couche de dentine, on peut voir que ce canal est parfaitement obturé.

Photo N° 4 : Cette photo, toujours avec un grossissement 160, donne l'image de la contexture du matériel d'obturation, qui comme on peut le voir, a rempli totalement le canal.

Photo N° 5 : G x 500

On peut considérer que le diamètre d'un canal aberrant se situe entre 8 et 10 μ .

OBTURATION A LA RESINE PIGMENTEE

PLANCHE 6 ECHANTILLON n° 4



Photo n° 3
G x 160

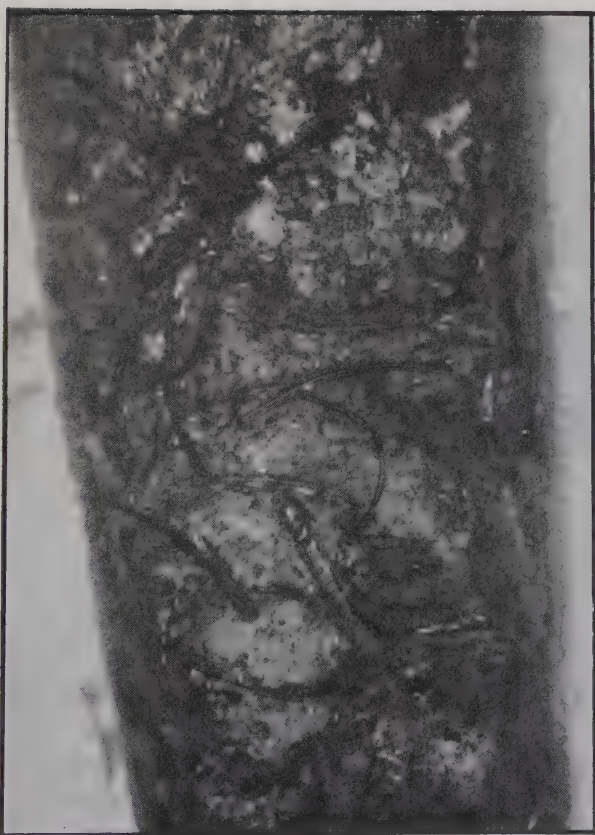


Photo n° 4 G x 160



Photo n° 5 G x 500

P L A N C H E 7

Echantillon : dent monoradiculée fraîchement extraite.

Matériau : Résine Baycril pigmentée.

Avec un grossissement G x 13 et un polissage volontairement insuffisant, on peut voir sur cette photo une section d'un canal principal bien rempli avec un canal latéral partant sur la gauche également très bien obturé.

OBTURATION A LA RESINE ELECTROPHORETIQUE PIGMENTEE

ECHANTILLON n° 5

PLANCHE 7



G x 13

P L A N C H E 8

Echantillon N° 6 : canine supérieure monoradiculée
fraîchement extraite.

Cette dent volontairement n'a pas subi préalablement de migration d' OH^- de manière à vérifier dans quelle mesure la matière organique constituée par ce bouchon peut se laisser traverser par la résine.

Matériau : Résine électrophorétique pigmentée.

Photo N° 1 : G x 50

Cette image montre que la résine a rempli parfaitement bien le canal, sauf dans la partie terminale, celle-ci est cependant remplie de résine avec un léger dépassement sur la gauche de l'image.

Photo N° 2 : G x 80

Cette photo donne plus de détails et montre la parfaite migration de la résine au-delà de l'apex.

OBTURATION A LA RESINE
ELECTROPHORETIQUE PIGMENTEE

PLANCHE 8

ECHANTILLON n° 6



Photo n° 1
G x 50



Photo n° 2
G x 80

P L A N C H E 9

Echantillon N° 7 : canine supérieure fraîchement extraite sans traitement par OH^- pour les mêmes raisons que précédemment.

Matériau : Résine électrophorétique pigmentée.

Photo N° 1 : G x 20

Après un polissage volontairement incomplet, on peut remarquer sur la tranche qui apparaît sur la photo N° 1 le remplissage assez complet de la partie supérieure du canal.

Photo N° 2 : G x 80

Le détail que donne cette image montre que la résine a migré à travers l'obstacle qui pourrait être un bouchon organique.

Un premier commentaire sur les migrations de résine électrophorétique nous apporte quelques conclusions :

- 1) Elles migrent assez facilement, même dans les canaux les plus étroits.
- 2) Elles se polymèrisent "in vitro" que par la chaleur.
- 3) Elles sont susceptibles de traverser les matières organiques laissées volontairement dans leur canal.

- 4) Elles ne sont pas radio-opaques. Des radiographies effectuées montrent l'image d'un double canal se rejoignant dans la partie apicale. La tige que l'on voit à la partie supérieure de la dent, a été utilisée pour la commodité de la radiographie.



OBTURATION A LA RESINE
ELECTROPHORETIQUE PIGMENTEE
PLANCHE 9 ECHANTILLON n° 7



Photo n° 1
G x 20

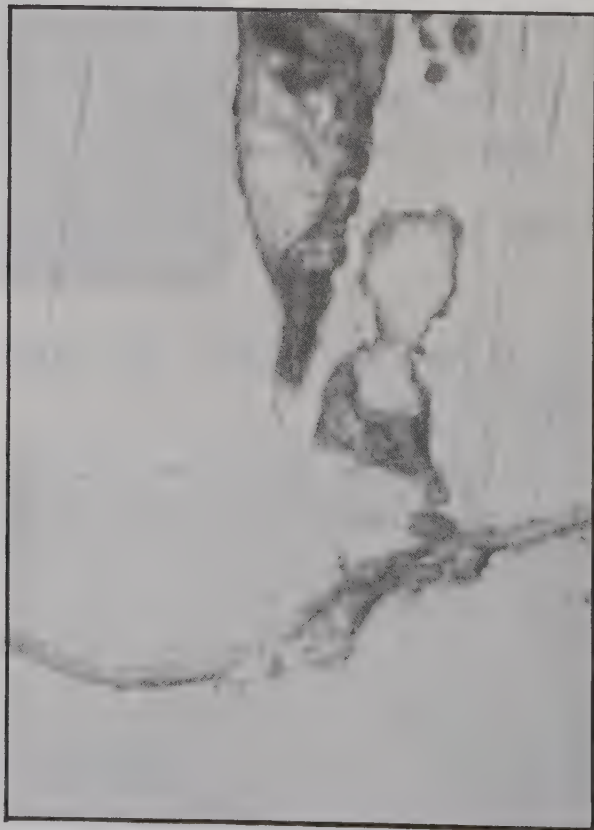


Photo n° 2
G x 80

CHAPITRE 2 : RESULTATS AVEC LA SILICE

Nous avons procédé avec le Ludox qui avait été retenu pour les différentes expérimentations exactement comme avec les résines électrophorétiques.

Migration d' OH^- , même temps d'application, mêmes intensités.

Nous avons également effectué différentes radiographies en incorporant des produits radio-opaques à la silice pour vérifier les migrations. Enfin, nous avons utilisé les autoradiographies pour la silice marquée.

P L A N C H E 10

=====

Echantillon N° 8 : Canine supérieure anciennement extraite,
sans matière organique et rendue conduc-
trice par ébullition dans du sérum
physiologique.

Photo N° 1 : G x 5,50

Elle montre une sortie latérale intéressante qui
semble obturée.

Photo N° 2 : G x 80

Elle donne plus de détails de ce point de sortie
et la formation de cristaux dans le canal.

Photo N° 3 : G x 160

Elle confirme la sortie de la silice, la partie
claire intermédiaire étant constituée par de la dentine qui
apparaît du fait de l'insuffisance de polissage.

OBTURATION A LA SILICE

PLANCHE 10

ECHANTILLON n° 8



Photo n° 1
G x 5,5



Photo n° 2
G x 80



Photo n° 3
G x 160

P L A N C H E 11

=====

Echantillon N° 9 : canine monoradiculée très calcifiée
(provenant d'un squelette) qui a dû
être rendue conductrice par ébullition
dans du Na Cl

Matériau : Silice Ludox

Photo N° 1 : L'absence d'image dans la région apicale
s'explique par la bifurcation du canal.

Photo N° 2 : G x 80

Il s'agit d'une image agrandie du canal qui
montre que le gel de silice le remplit complètement ; les
parties sombres qui apparaissent en noir sont constituées
par de la pâte à polir qui est restée fixée sur le gel.

L'absence de canaux aberrants s'explique vraisem-
blablement par l'âge avancé du sujet porteur de cette canine.

OBTURATION A LA SILICE

PLANCHE 11

ECHANTILLON n° 9



Photo n° 1
G x 13

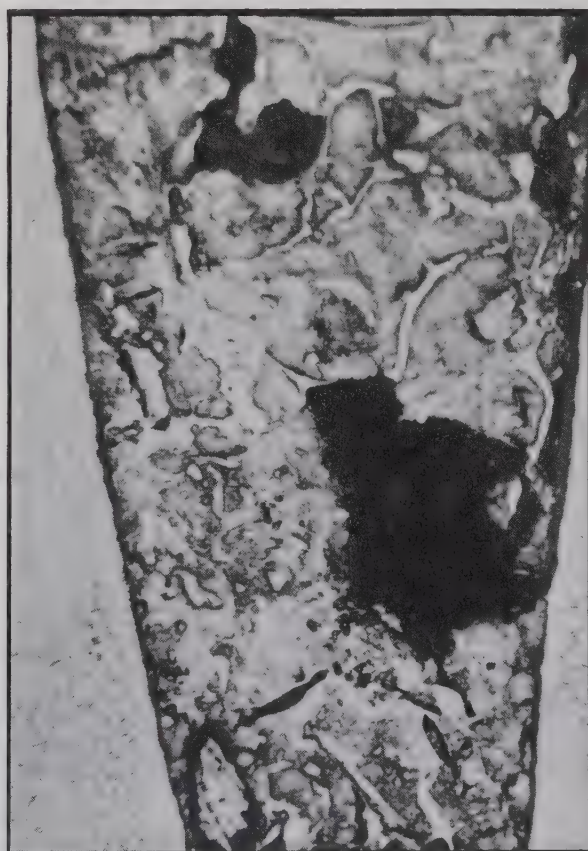


Photo n° 2
G x 80

P L A N C H E 12

Echantillon N° 10

Photo N° 1 : a été prise G x 80 pour montrer l'obturation du canal principal d'une dent monoradiculée avec migration de silice à l'intérieur.

Photo N° 2 : G x 160

On voit parfaitement l'obturation du canal et les cristaux de silice.

OBTURATION A LA SILICE

PLANCHE 12

ECHANTILLON n° 10

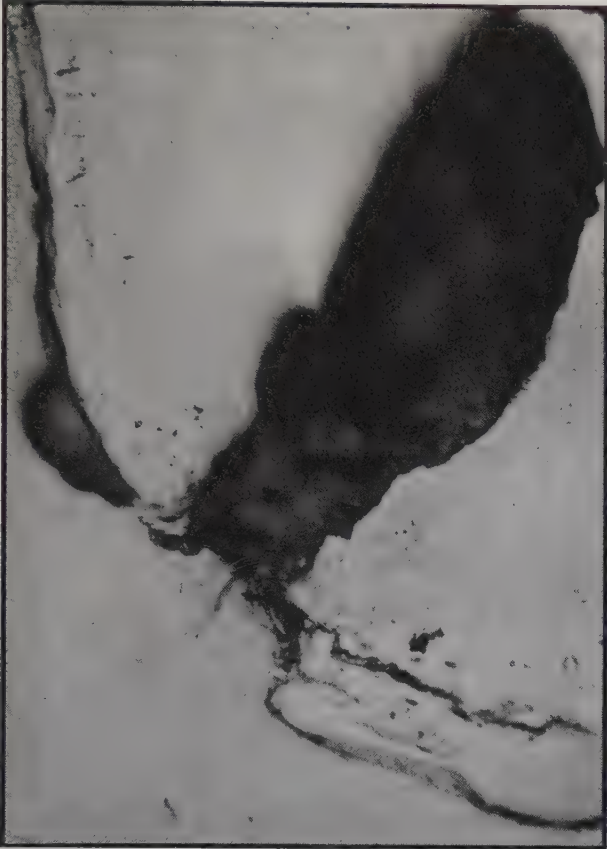


Photo n° 1
G x 80

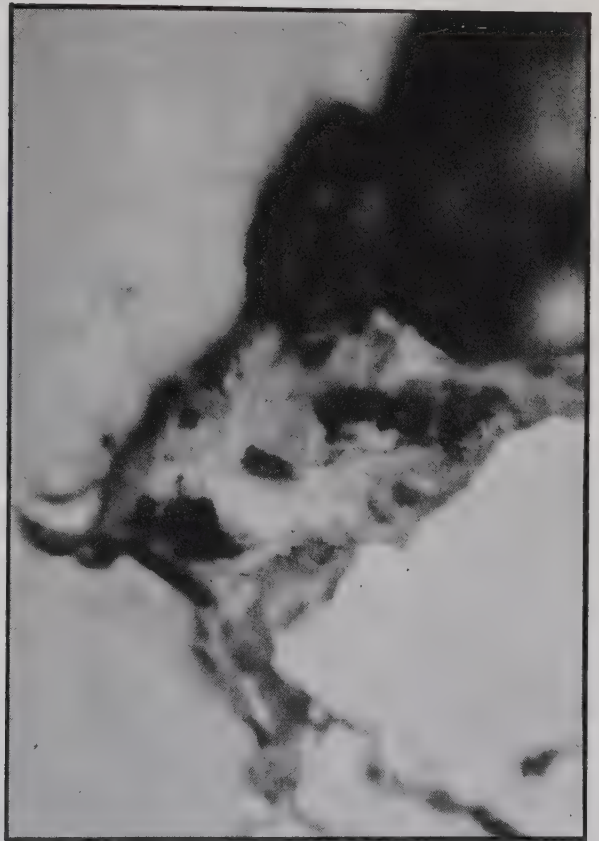


Photo n° 2
G x 160

P L A N C H E 13

-----■

Echantillon N° 11 : monoradiculée provenant d'un squelette.
Canal débarrassé de ses matières organiques, ayant subi une migration d' OH^- après ébullition dans le chlorure de sodium.

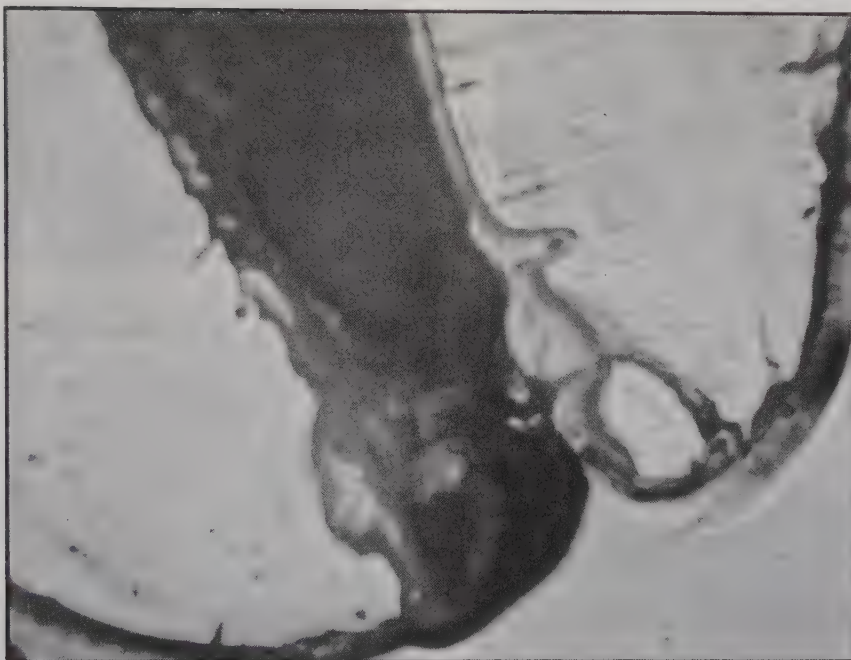
Matériau : Ludox

Photo : G x 80

Cette photo donne l'image d'un delta apical avec migration à l'extérieur de la silice. On peut voir également à droite de l'image un canal aberrant également rempli.

OBTURATION A LA SILICE

PLANCHE 13 ECHANTILLON n° 11



G x 80

P L A N C H E 14

=====

Echantillon N° 12 : canine inférieure anciennement extraite
très calcifiée.

Photo N° 1 : G x 13

Donne une vue d'ensemble de la racine avec la présence de cristaux de silice dans la partie médiane du canal. L'apex un peu latéralisé montre la migration du produit à la sortie avec léger dépassement.

Photo N° 2 : G x 50

Donne une image légèrement agrandie.

Photo N° 3 : G x 160

Donne l'image du cristal à la sortie qui a pris la forme d'une goutte.

OBTURATION A LA SILICE

PLANCHE 14

ECHANTILLON n° 12



Photo n° 1
G x 13

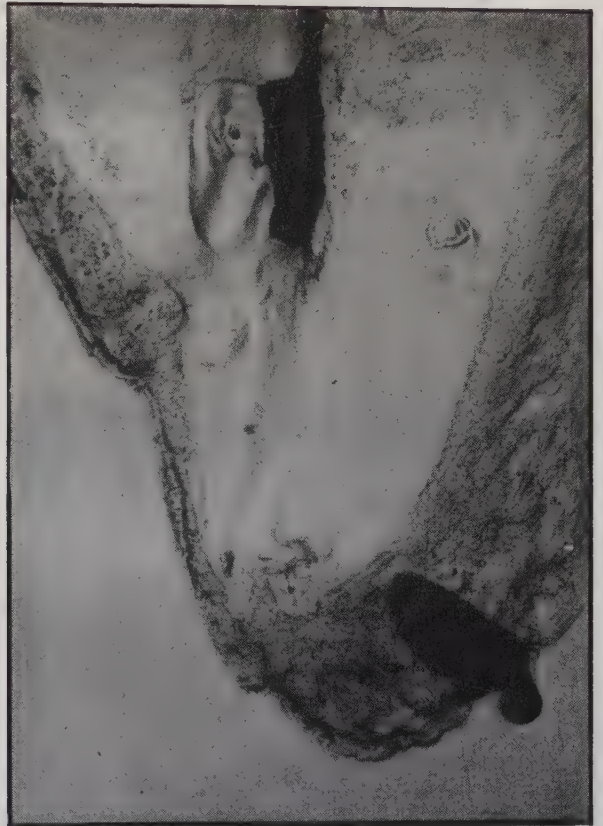


Photo n° 2
G x 50

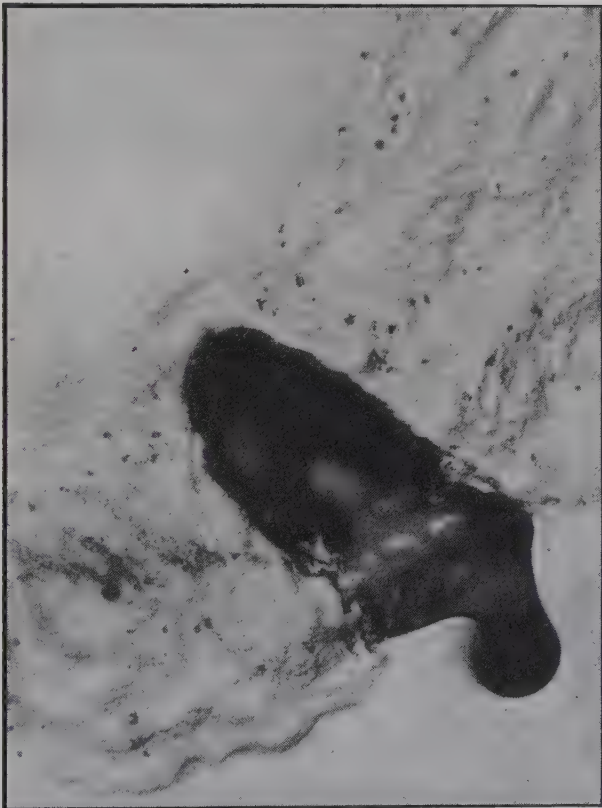


Photo n° 3
G x 160

P L A N C H E 15

=====

Echantillon N° 13 : monoradiculée sans OH^- , polissage volontairement incomplet.

Photo N° 1 : G x 13

Le début de polissage montre qu'il s'agit d'un delta avec de nombreuses ramifications. La Ludox obture parfaitement les parties visibles.

Photo N° 2 : A la suite d'un polissage plus poussé, on remarque l'accroissement du nombre des ramifications et à gauche de l'image l'ébauche d'un nouveau canal.

OBTURATION A LA SILICE

PLANCHE 15

ECHANTILLON n° 13



Photo n° 1
G x 13



Photo n° 2
G x 13

P L A N C H E 16

Echantillon N° 13 : Le même que sur la planche N° 15.

Photo N° 3 : G x 20

Un polissage profond montre la suite d'un canal qui commence à apparaître et les canaux latéraux disparaissent.

Photo N° 4 : G x 50

Elle montre l'importance de l'irrégularité des diamètres et la nécessité d'utiliser une méthode de remplissage électrophorétique.

Photo N° 5 : G x 80

Elle montre le détail de l'apex, avec migration du produit à la sortie. Ce qui n'apparaissait pas sur les clichés antérieurs.

OBTURATION A LA SILICE

PLANCHE 16

ECHANTILLON n° 13



Photo n° 3
G x 20



Photo n° 4
G x 50

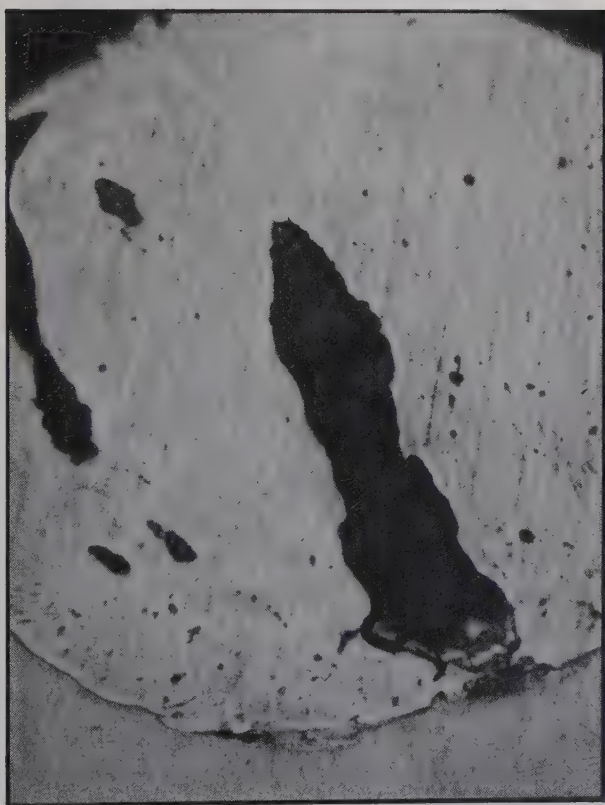


Photo n° 5
G x 80

P L A N C H E 17

=====

Echantillon N° 14 : dent anciennement extraite. Sans OH^- .

Nous avons sur cette planche la représentation d'un canal aberrant à différents stades du polissage de l'échantillon.

Photo N° 1 : G x 160

Elle nous indique que ce canal devrait avoir un diamètre de 20 à 25 μ .

Photo N° 2 : G x 160

Elle montre un autre canal dont le diamètre se situe entre 8 et 10 μ .

Photo N° 3 : Nous avons une image des cristaux déposés à l'intérieur de ce canal.

OBTURATION A LA SILICE

PLANCHE 17

ECHANTILLON n° 14

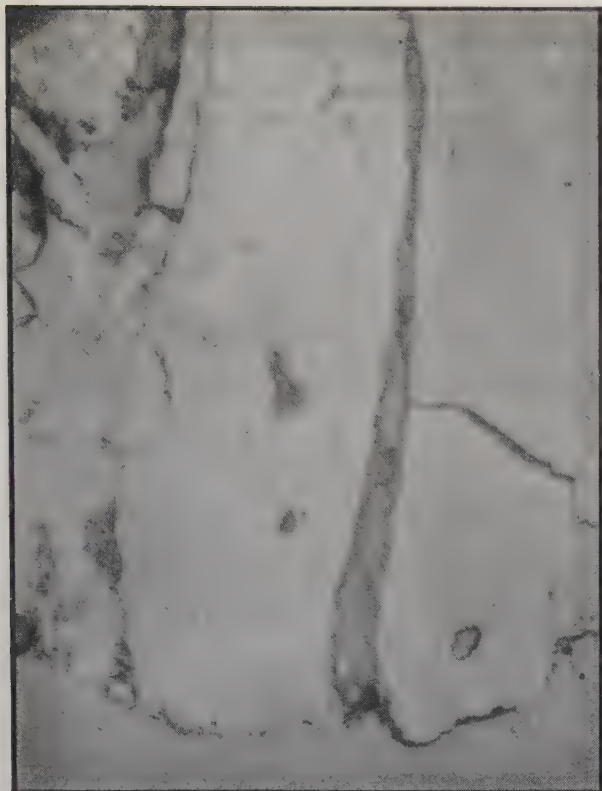


Photo n° 1
G x 160

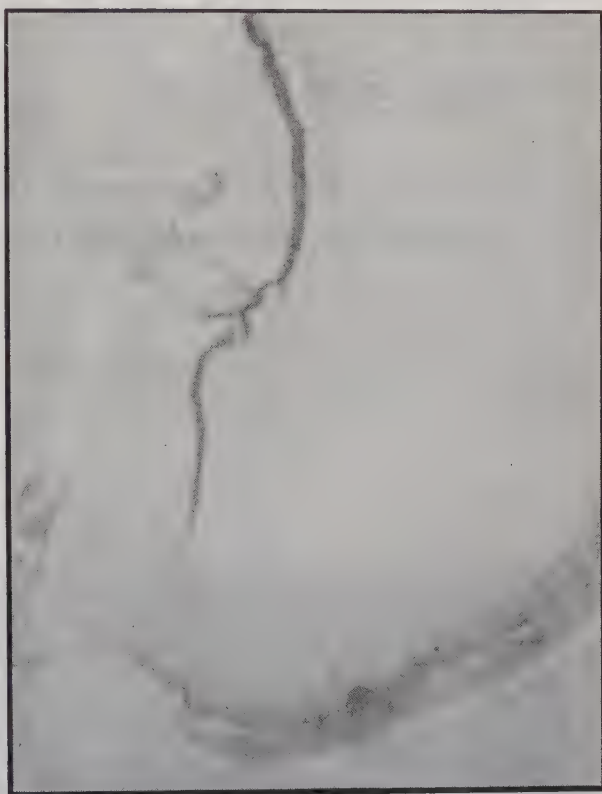


Photo n° 2
G x 160

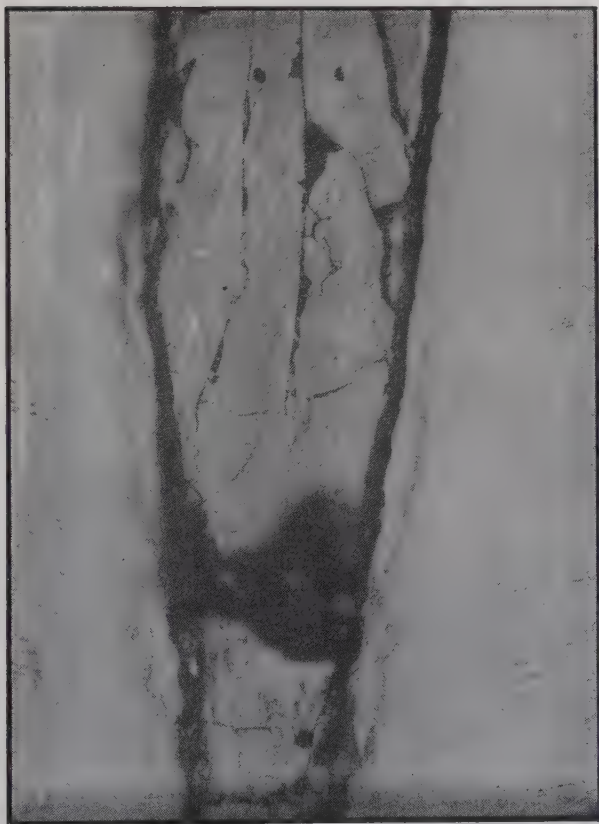


Photo n° 3
G x 80

P L A N C H E 18

Echantillon N° 15 : monoradiculée. Dent très ancienne.
Sans OH⁻. Ebullition dans sérum
physiologique.

Photo N° 1 : G x 20

La photo montre une image constituée de points
qui peuvent être des sections de canaux aberrants.

Photo N° 2 : G x 50

1/3 inférieur de la racine, montre que la silice
a migré et dépasse l'orifice de la dent.

OBTURATION A LA SILICE

PLANCHE n° 18

ECHANTILLON n° 15



Photo n° 1
G x 13

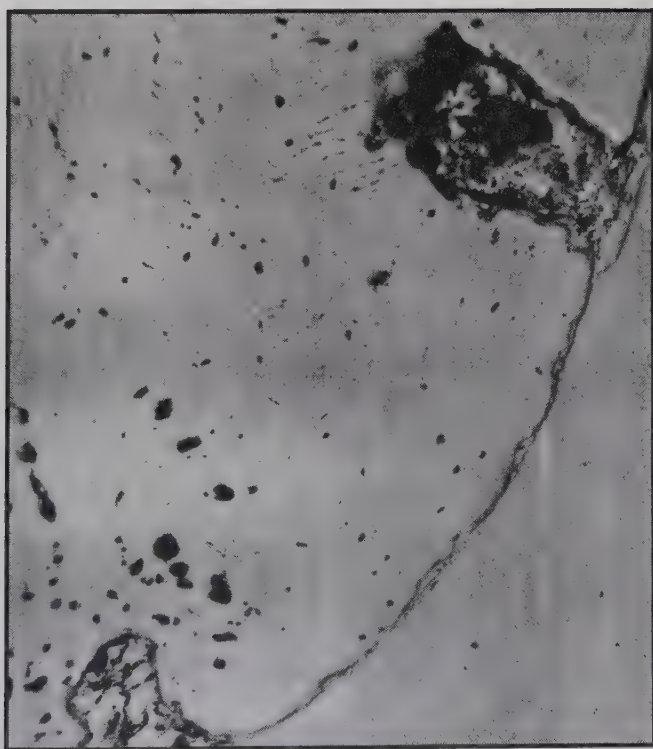


Photo n° 2
G x 50

OBTURATION A LA SILICE

PLANCHE n° 19

ECHANTILLON n° 15



Photo n° 1
G x 20

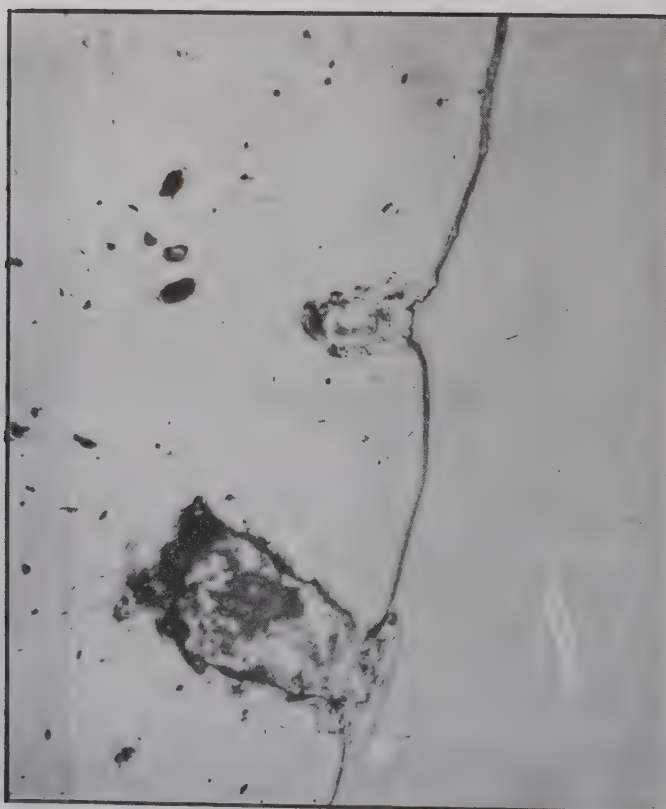


Photo n° 2
G x 50

OBTURATION A LA SILICE

PLANCHE 20

ECHANTILLON n° 16



G x 20

Echantillon N° 16 : monoradiculée. Polissage volontairement insuffisant. Sans OH^- . Dent fraîchement extraite.

Photo : G x 20

Montre que la silice remplit un canal aberrant assez haut, situé sur le côté droit de l'image.

P L A N C H E 21
=====

Echantillon N° 17 : prémolaire supérieure. Dent en provenance d'un squelette humain. Rendue conductrice par ébullition.

Photo N° 1 : G x 13

La section montre sur le cliché la sortie de la silice en bas à gauche et laisse deviner 2 canaux non encore mis à nu par le polissage.

Photo N° 2 : G x 80

Donne l'image de la jonction de ces 2 canaux.

Photo N° 3 : Même grossissement. Polissage plus poussé montre que la silice a migré et se trouve à la partie terminale.

OBTURATION A LA SILICE

PLANCHE 21

ECHANTILLON n° 17



Photo n° 1 G x 13

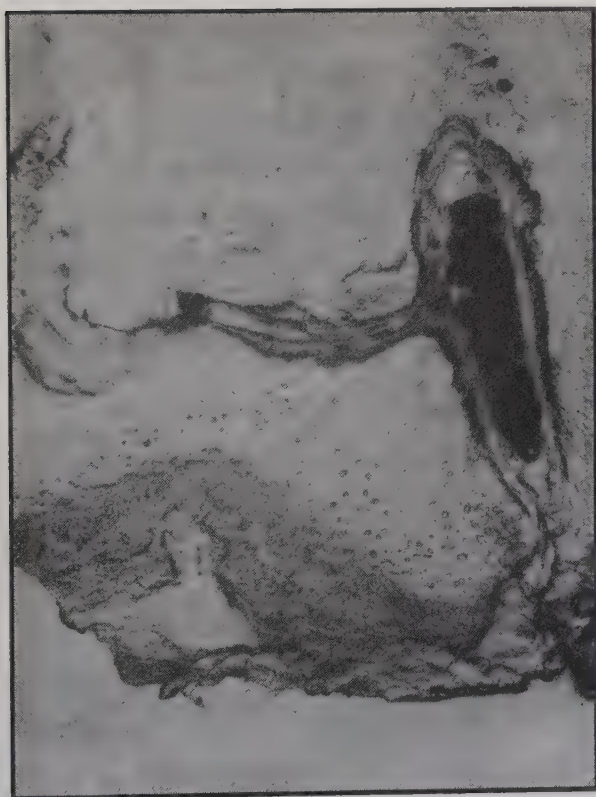


Photo n° 2 : G x 80



Photo n° 3 : G x 80

RADIOGRAPHIES DES ECHANTILLONS

=====

Des dents ont été remplies avec de la silice mélangée à du minium. Des essais avaient mis en évidence les possibilités de migration de l'ensemble.

PREPARATION DU MELANGE SILICE + MINIMUM

L'oxyde de plomb est ajouté par très petite quantité sous agitation à la dispersion de silice TM à 50 % PH 9 afin d'obtenir une dispersion colorée radio-opaque. La suspension réalisée est assez stable mais on observe une décantation plus ou moins marquée de l'oxyde de plomb (on ne prélève donc que le mélange silice + minium surnageant qui lui, est stable).

ESSAIS DE DEPOT

On réalise un dépôt sur électrode métallique (cuivre ou zinc placée en anode) à l'aide du mélange minium + silice afin de vérifier que les deux constituants migrent dans le même sens et ensemble (la silice est chargée négativement, donc se déposera à l'anode).

On effectue un dépôt sous 3 mA: 5 minutes. Le dépôt obtenu est parfaitement homogène, il est teinté en rouge. Le pigment ajouté (minium) migre donc dans les mêmes conditions que la silice.

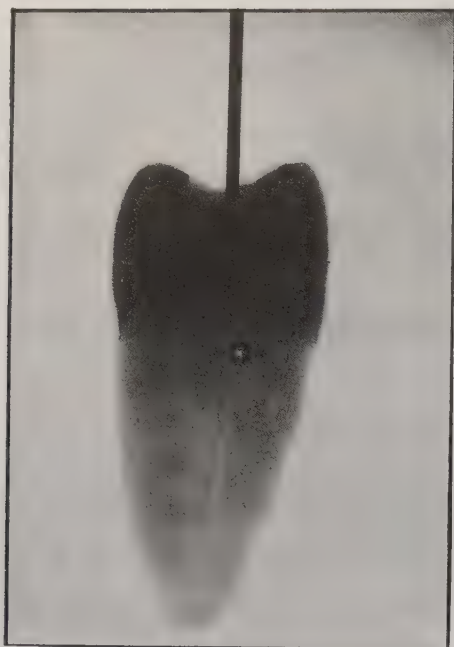
Dans les deux cas :

Photo N° 1 : sur une prémolaire supérieure, on devine le canal qui est indiqué en plus clair sur l'image.

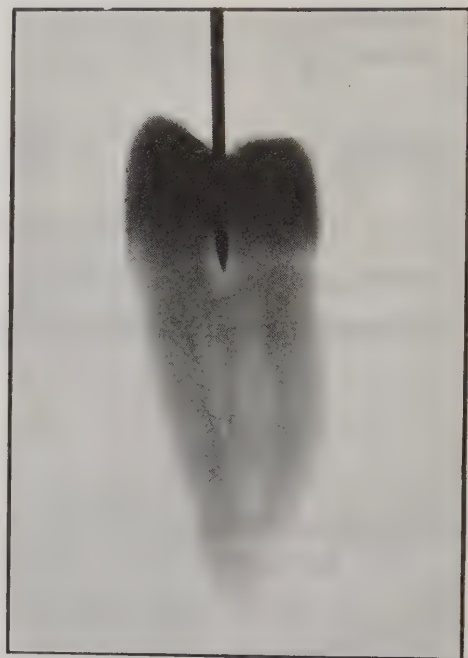
Photo N° 2 : sur cette canine, même résultat.

On ne peut non plus retenir cette méthode pour obtenir une radio-opacité
mais parfaite obturation des canaux. (photo n° 3)

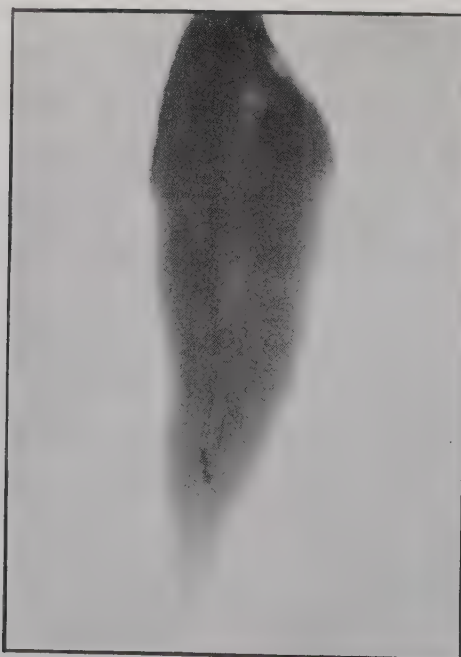
CLICHES RADIOGRAPHIQUES APRES OBTURATION



Cliché n° 1



Cliché n° 2



Cliché n° 3

OBTURATION : SILICE + MINIMUM

CHAPITRE 3 : CONTROLES PAR RADIO-ISOTOPE

Nous avons pensé qu'il serait intéressant de contrôler, grâce à des auto-radiographies, après section de la dent, le remplissage des sorties de canaux, avec la même technique que celle utilisée avec le calcium⁴⁵. Mais il y avait une difficulté assez importante qui provient du fait que le pic de la silice et du sodium sont très voisins. Nous avons donc été dans l'obligation de diminuer la teneur en sodium.

TRAITEMENT DU LUDOX

Le LUDOX AS contient par cm^3 :

300 mgr. SiO_2 - valeur donnée par la notice sur le LUDOX
2,5 mgr. NH_3 - idem
1,1 mgr. Na - valeur obtenue par dosage par activation.

I.- PURIFICATION DU LUDOX

Nous avons essayé de diminuer sa teneur en sodium en le purifiant par dialyse. Voici le mode opératoire utilisé.

Pour suivre facilement le cours de la purification, le LUDOX à purifier est irradié à la pile afin de marquer le sodium. Les réactions nucléaires sont :

^{23}Na (α, γ) ^{24}Na - abondance $^{23}\text{Na} = 100 \%$
section efficace $\sigma = 0,53$ barns

^{30}Si (n, γ) ^{31}Si - abondance $^{30}\text{Si} = 3,12 \%$
section efficace $\sigma = 0,11$ barns

avec ^{24}Na - période ^{15}H - $E_{\text{max}} = 1,4 \text{ Mev}$
 $1,369 \text{ Mev} (100 \%) - 2,734 \text{ Mev}$
(100 %)

^{32}Si - période $^{2,62}\text{H}$ - $E_{\text{max}} = 1,48 \text{ Mev}$
 $1,26 \text{ Mev} (0,07 \%)$

Le LUDOX irradié (3 cm^3) est introduit dans un sac en collodion (+) qui est placé dans un bécher rempli d'eau distillée (300 cm^3) -

Les pores de la membrane en collodion ont un diamètre inférieur à 5 millimicrons. Les particules colloïdales de silice, trop grosses, ne peuvent pas la traverser, tandis que les ions Na^+ (et NH_4^+) diffusent à travers la membrane vers l'eau. Cette diffusion continuera jusqu'à ce que l'équilibre des concentrations soit établi de part et d'autre de la membrane, c'est pourquoi le volume d'eau est choisi très grand (300 cm^3) par rapport à celui du LUDOX (3 cm^3).

On renouvelle le volume d'eau de temps en temps pour atteindre à chaque fois un nouvel équilibre correspondant à des concentrations inférieures en sodium.

On suit le cours de la purification en mesurant l'activité en ^{24}Na des solutions au moyen du spectrographe.

Voici les résultats obtenus :

Dialyse N°	1	2	3	4	5	6
Durée de la dialyse	2 ^H 40	6 ^H	21 ^H	26 ^H	45 ^H	100 ^H
% Na extrait	28,4	51,2	66,4	73	81	92

D'après ces valeurs, il ne reste dans le LUDOX après dialyse que 8 % du sodium initial, ce qui a été confirmé par un dosage par activation - soit 0,1 mg Na pour 300 mgr SiO_2 -

On peut probablement continuer ainsi la purification, mais il faudra :

- Des durées de dialyse de plus en plus longues.
- S'assurer de la pureté en sodium de l'eau distillée et employée.
- Effectuer la dialyse, non plus en présence d'eau distillée, mais en présence d'une solution de NH_4OH diluée (absolument exempte de Na) pour conserver la stabilité du colloïde.

II.- INFLUENCE DU ^{24}Na SUR LES AUTORADIOGRAPHIES

Pour mettre en évidence l'erreur que peut causer la présence de ^{24}Na sur les autoradiographies, nous avons fait une autoradiographie du LUDOX, puis cherché à connaître la part de noircissement due au rayonnement de ^{31}Si et celle due au ^{24}Na . Ceci a été effectué de la manière suivante :

- Le LUDOX est irradié 30 minutes.

- On fait une première autoradiographie -
exposition 1 minute

soit A l'intensité du noircissement dû à ^{31}Si

" B " " " " à ^{24}Na

- Si après 24 heures, on fait une nouvelle autoradiographie de même durée, le noircissement sera plus faible, on aura :

$$A' = A e^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = e^{-\frac{0,7 \times 24}{2,62}} = 1,6 \times 10^{-3} A \text{ l'intensité due à } ^{31}\text{Si}$$

$$B' = B e^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = e^{-\frac{0,7 \times 24}{15}} = 0,33 B \text{ l'intensité due à } ^{24}\text{Na}$$

Par contre, si, au lieu d'exposer 1 minute, on expose 3 minutes, l'intensité du noircissement sera pratiquement égale à B ou tout au moins donnera une valeur limite supérieure de B.

Donc, en comparant les deux autoradiographies, on pourra connaître la part du noircissement causée respectivement par ^{24}Na et ^{31}Si .

On voit que la tache due au ^{24}Na est beaucoup plus faible que celle due à ^{31}Si , même dans le LUDOX non purifié (autoradio jointe). La déformation des taches vient de ce que le LUDOX étant en solution, la répartition de la silice avait varié entre les deux autoradiographies.

III.- CONCLUSION

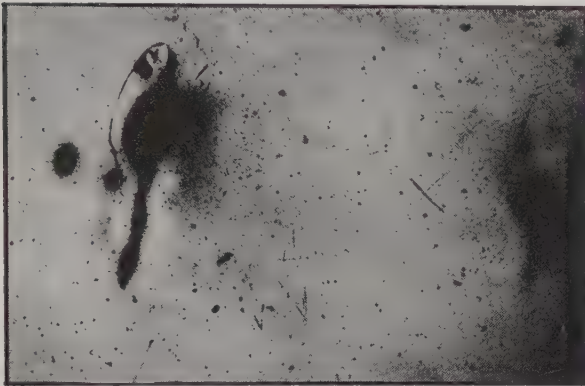
Irradier la silice pendant un temps court, de préférence inférieur ou égal à 15 minutes.

Exposer les autoradiographies de la même façon.

Quoiqu'il ait été démontré que la présence du ^{24}Na n'avait que peu d'influence, il serait préférable de refaire une deuxième autoradiographie des dents quelques jours après la première, avec un temps d'exposition calculé comme il est dit plus haut. Ceci, au cas où le sodium serait préférentiellement fixé par la dent, ou bien au cas où le rayonnement aurait à traverser une forte épaisseur de matière (dent) avant d'arriver au film photosensible (^{24}Na ayant un rayonnement plus énergétique serait alors favorisé).

Ces manipulations furent effectuées sur différentes dents et confirment que la silice a bien migré à travers le canal. Des sections effectuées après une irradiation de silice de courte durée (15 minutes) donnent des autoradiographies (photos n° 1 et 2) où il est possible de remarquer sur deux images le passage de la silice parquée avec aboutissement à la partie terminale de la dent ; l'exposition ayant été de 10 minutes.

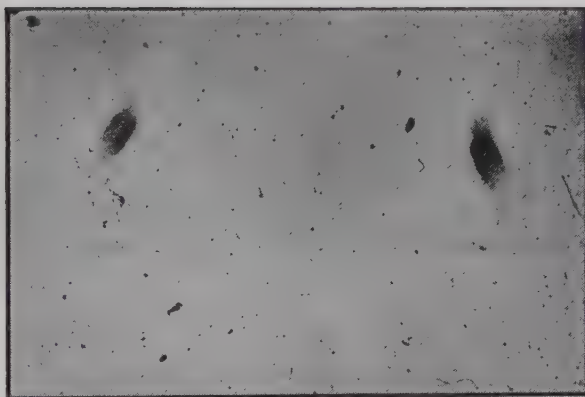
Par contre, les autoradiographies N° 3 et 4 effectuées 24 heures après sur les mêmes dents indiquent qu'il s'agit bien de silice. En effet, il n'est plus possible de trouver trace de l'image du canal sur les nouvelles autoradiographies. L'influence du ^{24}Na est donc négligeable et la preuve est faite que la silice a parfaitement migré.



I



II



III



IV

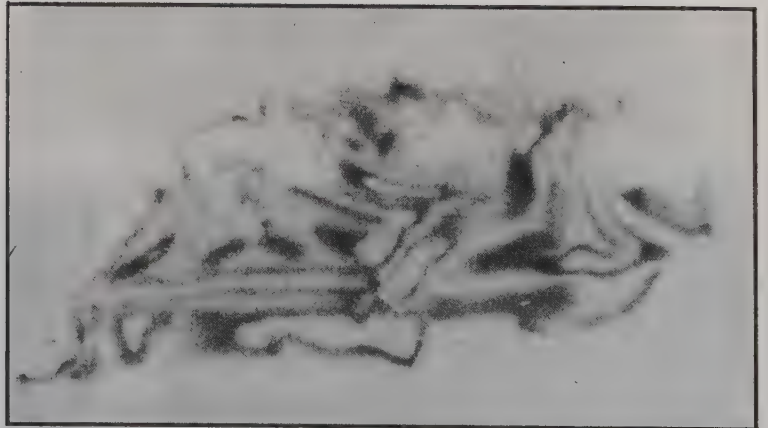


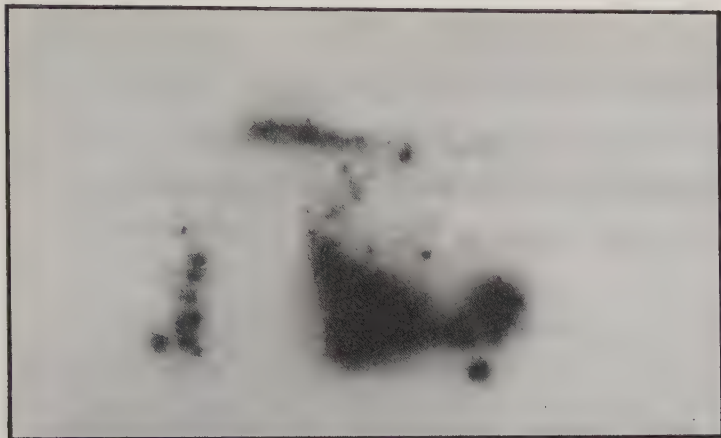
Exposition
1 minute

1 heure
après irradiation
en dose non purifiée

Exposition
3 minutes

14 heures
après irradiation
en dose non purifiée



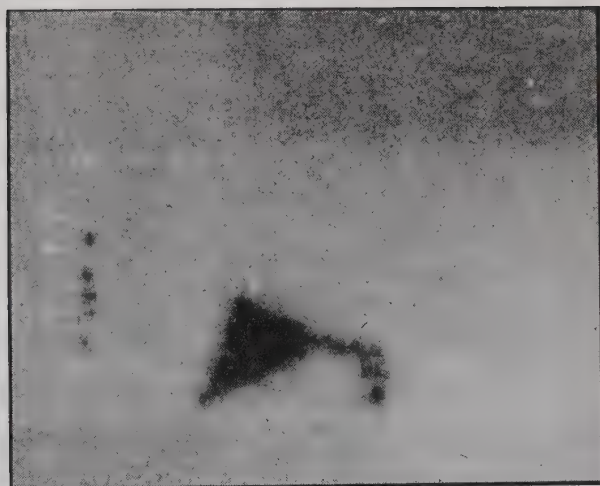


Exposition
1 minute

1 heure
après irradiation
en dose purifiée

Exposition
3 minutes

24 heures
après irradiation
en dose purifiée



CHAPITRE 4 : CONTROLE PAR LA CONDUCTIBILITE

Il nous a paru intéressant de vérifier, après les différentes obturations effectuées, si on pouvait, après quelques jours d'intervalle, obtenir une preuve de l'imperméabilité électrique des canaux.

RESULTATS DES ESSAIS

Nous avons procédé comme pour une électrophorèse d'ion OH^- en plaçant l'électrode de platine dans la chambre pulpaire. Aucun courant ne passait, ce qui indique une absence de perméabilité totale.

CHAPITRE 5 : CONCLUSIONS

La matérialisation des canaux secondaires et les différentes photographies effectuées ne laissent aucun doute sur l'impossibilité d'effectuer le remplissage de l'endodonte par une autre méthode que l'électrophorèse. Les diamètres et les situations de ces canaux aberrants rendent les méthodes classiques inopérantes dans la plupart des cas.

Les impératifs physiologiques imposant des matériaux susceptibles de migrer dans un temps assez court nous ont obligés à choisir parmi deux types de solutions colloïdales des produits qui ont prouvé leur efficacité.

Nous savons également qu'il est possible d'utiliser des produits stérilisés au gamma sans qu'aucune modification n'intervienne dans leur comportement.

Nous ne pouvons cependant, après cette étude, tirer des conclusions définitives. Seule la clinique nous dira si les expériences "in vitro" sont reproductibles "in vivo".

Quelques remarques s'imposent, cependant, à la suite de ces travaux : deux points sont en effet importants dans toute thérapeutique endodontique.

Premièrement : la stérilisation de l'endodonte. Nous constatons, après l'étude de l'anatomie endodontique,

que seule l'ionophorèse peut résoudre le problème de la pénétration, de la désinfection et de la destruction des matières organiques. Aussi aux U.S.A., les traitements de canaux qui, du reste, ne sont pratiqués que par quelques spécialistes, sont effectués uniquement sur endodonte accessible. Après de très sérieuses précautions, par exemple, mise en culture de mèches témoins placées en observation dans le canal, seuls quelques cas sont considérés par eux comme présentant une garantie de guérison indiscutable. En effet, de très récents travaux, concernant des prélèvements pratiqués aseptiquement sur le contenu de canaux secondaires ont montré leur septicité, bien qu'aucune image radiographique n'ait attesté une lésion sur une dent jusqu'alors considérée comme saine. Cette constatation amène un grand clinicien comme MARMASSE, après une pulpectomie dite "totale", sous anesthésie, de la considérer comme une amputation vitale à un certain niveau, nécessitant de ce fait les précautions d'un coiffage qui permettra une fermeture apicale biologique ultérieure. Aussi, ne rejette-t-il pas cette méthode.

En effet, dans ce cas particulier, on assiste au bout de quelques mois à une véritable prolifération de tissu conjonctif périapicale à travers le foramen, puis à une résorption de la paroi dentinaire et enfin à une formation de ciment secondaire qui réalise une obturation biologique idéale. Mais, les autres cas

Lorsqu'il s'agit de canaux où toute matière organique vivante a disparu par suite de l'infection, seule une méthode électrophorétique sera valable, compte tenu de la difficulté.

On en arrive au deuxième point.

Deuxièmement : l'obturation. Lorsqu'il s'agit après le temps de désinfection, d'obturer, nous savons que le matériau aseptique, non irritant, devra également être assez dur pour être occlusif. En effet, LENTULO a mis en évidence les possibilités, sous l'influence des modifications de températures buccales, de voir s'effectuer des transports de germes vers le périapex, sous l'effet de la chaleur ou des apports de matières organiques en sens inverse, sous l'effet de la rétraction provoquée par le froid. Matières organiques qui constituent un aliment pour les germes contenus dans les canaux aberrants non obturés et qui expliquent leur survie.

Nous serons méfiants à l'égard des résines qui, si elles ne sont pas auto-polymérisables dans un délai assez court, ne nous satisfont pas.

Faudra-t-il les essayer "in vivo" ?

Si nous reprenons les statistiques de BLACK et celles de HATT, nous voyons que, dans les dents à racines parfaitement obturées, 75 % sont indemnes de lésions apicales visibles. Mais les examens radiographiques, après traitement, nous l'avons vu à la suite des récentes études sur les prélèvements dans les canaux aberrants, ne sont pas un critère de guérison. On en arrive à comprendre les réactions interventionnistes des praticiens américains.

Il faut donc utiliser une méthode électrophorétique. La silice semble être le matériau à retenir. La clinique jugera. Le facteur individuel, le terrain, joue son rôle.

L'obturation idéale doit être surtout apicale, peu importe que le canal reste insuffisamment obturé, ce qui cependant, ne semble pas être le cas dans nos différentes études.

Le léger débordement n'est pas un inconvénient. Il constitue au contraire, une garantie de succès, surtout si comme avec la silice, il n'y a aucune action toxique sur le périapex. Autre avantage, lorsqu'il s'agit d'opérer sur des canaux, après ablation du paquet vasculo-nerveux, sous anesthésie, le matériau franchit le bouchon constitué par les matières organiques. Nous avons réuni tous les éléments qui permettent de commencer les essais thérapeutiques avec l'espoir de résultats cliniques. Tel a été le but de ce travail.

B I B L I O G R A P H I E

OUVRAGES GENERAUX

- 1.- MARMASSE - Dentisterie opératoire - Ed. BAILLIERE & FILS
Tome 1 Dentisterie thérapeutique
- 2.- MILAZZO - Electrochimie - DUNOD - Tome 1
- 3.- BONNEMAY - Les colloïdes - Collection "Que sais-je"
PRESSES UNITAIRES DE FRANCE

OUVRAGES SPECIALISES - REVUE

- 1.- ACKERMANN & POMPIANS - MINIAC - L'urgence en odontostomatologie
- 2.- CERNEA & BATAILLE - Les altérations dentaires provoquées par la radiothérapie de la région cervicale
Revue "Stomatologie" N° 8 - 9 Août - Septembre 1947
- 3.- BOUCHON - Le traitement des racines par la méthode classique - R.M.S.O. 1949 page 293
- 4.- GOTTLIEB - ORLAN - STEIN - Le problème du traitement radiculaire
- 5.- HESS (W) - Obturations radiculaires - P.O.S. fiche 358

6.- LENTULO - De l'ouverture à l'obturation des canaux radiculaires - Congrès International Vienne 1936 et Congrès International Paris 1931 section III p. 174

7.- LEVY - MAX - Obturation radioactive des canaux radiculaires - R.O. 1950 p. 506

8.- MULLER - Contribution à l'étude des méthodes d'obturation des canaux - Congrès International Paris 1931 section III a p. 12

ETUDE DES CANALICULES

9.- BERNARD - Nouvelle étude sur l'ionophorèse - Ed. PHYSIOTECHNIE

10.- APRIL - Anatomie topographique des canaux dentaires par la méthode de diaphanisation - Revue de Stomatologie 1959 60 - p. 146

11.- CAMBON - Etude anatomique des canaux aberrants des molaires et prémolaires permanentes - Revue Française d'Odontostomatologie - Octobre 1967 - Tome XIV

12.- KLEES - Contribution radiographique et histologique à l'étude des canaux radiculaires et de leur traitement - Archives de stomatologie 1956 - volume 2 - 107 - 207

- 13.- NYSEM WAYGNE - Classification rationnelle des canaux dentaires en vue de traitement radiculaire - Revue stomato-Odontologique - Février 1967
- 14.- KOVAC S.I. - Contribution à l'étude de la morphologie ontogénique des racines des dents humaines - Bulletin Group. Int. Recherche Scientifique en Stomatologie 1963 - Vol. 6 p. 93 - 122
- 15.- BRUNEL, LEROUX, PAYEN & RABINOWITCH - Traitement des racines dentaires - Rapport du XVIII e Congrès Français de Stomatologie - MASSON & Cie Ed. - Paris 1963 - pages 164 - 171
- 16.- VERMOT-GAUD - Mise en évidence et recherches statistiques sur la fréquence des canaux pulpo-paradontaux sur les molaires de lait et leur incidence sur l'infection du septum interradiculaire - Revue Odonto - Stomato - Novembre 1967 - Tome XV
- 17.- BRABANT, KLEES, WERELDS - Anomalies, mutilations et tumeurs des dents humaines - pages 126 - 142 - Editions JULIEN PRELAT PARIS
- 18.- BERNARD - L'obturation expansive des canaux aberrants par permutation moléculaire - Odontologie Mai 1952
- 19.- COOLIDGE - Pathologie clinique et traitements pulpaires et périodontologie - LEA & FEBIGER PHILADELPHIE 1946 - page 196

- 20.- GROSSMAN - Thérapeutique radiculaire - LEA & FEBIGER -
PHILADELPHIE 1946 - page 243 - Dental
Cosmos 1929 - page 708
- 21.- GROSSMAN & CHARNY - Dental Digest 1939-page 223
- 22.- GROSSMAN & PRINZ - Dental Cosmos 1932 - page 324
- 23.- WOLF & LUTZ - L'électrolyse de l'ion OH^- comme méthode de
traitement radiculaire
- 24.- SCHLIJECHER - Le Jétri - R.O. Décembre 1947
- 25.- ROSS - Contrôle de l'obturation des canaux - Congrès
International Paris 1931 - section III a
page 4
- 26.- CHOKOMIAN R. - Contribution à l'étude de la migration
et de la décharge des particules colloïdales -
Mémoire C N A M 1970

